

# 国宝・重要文化財日光社寺建造物の保存に関する研究受託研究報告第65号昭和49年4月1日～昭和61年3月31日)

著者	新井 英夫, 見城 敏子, 中里 壽克, 三浦 定俊, 森 八郎, 江本 義理, 伊藤 延男
雑誌名	保存科学
号	30
ページ	65-128
発行年	1991-08-30
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1440/00003471/">http://id.nii.ac.jp/1440/00003471/</a>



# 国宝・重要文化財日光社寺建造物の保存に関する研究

(受託研究報告 第65号 昭和49年4月1日～昭和61年3月31日)

新井英夫・見城敏子<sup>\*1</sup>・中里壽克・三浦定俊  
森八郎<sup>\*2</sup>・江本義理<sup>\*3</sup>・伊藤延男<sup>\*4</sup>

## I 緒 言

東京国立文化財研究所は、昭和49年度から同60年度までの12年間、日光社寺文化財保存会から継続して「国宝・重要文化財日光社寺建造物の保存に関する研究」を受託し、実施してきた。この報告書は、その間に行ってきた調査研究の概要及び経過と、その成果をとりまとめたものである。

日光二社一寺が多数の国宝・重要文化財を所有され、日本における文化財の一大宝庫をなしていることは、今更申すまでもないことであるが、特に建造物は、漆、彩色、金具等の多彩な技術を駆使していて、他に類例をみない貴重な文化遺産となっている。これらに用いられている技術、技法は、一定周期ごとに改修を必要とするものであり、特に日光の特殊な気候条件がこれを必須のこととしている。したがって、一方では、修理を機会に技術、技法の伝承を図らねばならないが、一方では、最新の科学技術を含む各種の技術開発を行って、一度の修復が可能な限り長く維持できるよう工夫しなければならない。

本研究は、日光建造物修理に課せられたこの二つの課題のうち後者について、いささかでも寄与することを目的として行われたものである。研究テーマは、塗漆、彩色、生物被害、微気象に大別される。しかし実際に調査研究に当たってみると、すべて未知もしくは既往研究の少ない領域であり、決してやさしいことではなかった。しかし毎年の積み重ねにより、少なくとも各領域とも基礎的部門については、一定の成果をあげたものと考えている。

長期にわたる研究にもかかわらず、日光二社一寺御当局及び日光文化財保存事務局の皆様方からは、終始あたたかい御指示と御協力を得た。日々に生ずる問題点に直接立ち向っておられる日光側の人びとから見られれば、あるいは研究が基礎面にたかより、応用効果の少なかったことを嘆かれるかもしれない。しかし基礎を固めることが先決と御理解いただければ幸いと考えている。

本研究は、これを以て一応終了するが、さらに構想を新たにして、第二、第三の研究に進むことができるよう衷心より願い、この報告の序としたい。

昭和62年3月31日

(伊藤延男)

\* 1 当研究所名誉研究員

\* 2 慶応義塾大学名誉教授 (昭和63年7月1日物故)

\* 3 昭和女子大学、当研究所名誉研究員

\* 4 神戸芸術工科大学

## II 調査研究の概要

### (受託研究に至る経緯と経過)

#### 1. はじめに(経緯)

日光市山内の杉木立の中には、国宝・重要文化財等に指定された建造物をはじめとして多数の建造物が保存されており、二社一寺によって管理されている。建造物の配置は山間の地勢に応じて整えられ、それらの彫刻、建築彩色、金具等は、その精巧優美さを誇っている。しかし、日光が山地であると言う地形と特殊な気象条件の下に、これらの建造物は、極めてきびしい保存環境に置かれている。そのため、維持修理や、大規模な修理が完了してそれ程年数が経過していないにも拘らず、塗装、彩色、金具類が、変退色、腐食等の劣化現象が認められることが多かった。このような劣化現象に対する対策として、科学的処置を施すための調査研究は、当部の前身である、国立博物館保存技術研究室の頃、昭和20年代の半ばより、当時、国宝保存工事事務所の依頼によって行われていた。

依頼の内容としては、防腐防黴処理、材質調査が主なものであった。以下にその主なものを記す。

#### 2. 昭和49年度以前の調査研究例

##### 1) 二荒山神社 神橋 親柱の防腐処理<sup>1)</sup>

親柱は側面は漆塗り、上部は擬宝珠がはめられており、内部特に中心部はむれ腐れで、褐色腐朽を起こし、指でつぶすと粉になる程腐朽が進んでいた。後補材に対する防腐処理として、ペンタクロロフェノールナトリウム(PCP-Na)の水溶液を柱根に含浸させるため、柱根の浸漬法をとることとし、2%PCP-Na水溶液中に、ヒノキ及びケヤキの角材を直立させ、浸漬した場合の薬剤浸透量を測定して、施工法の実験を行った。

3日間浸漬後、ヒノキ材は木口面より約10mm、側面より0.5mm程度、ケヤキ材心材は木口面より2~3mm、側面より0.5mm程度の浸透であり、木材の加工を終えた後に防腐処理を行うべきであることが確認された。

##### 2) 東照宮、神厩胴板他5箇所、二荒山神社 本殿、輪王寺大猷廟の黴害調査と防黴方法<sup>2)</sup>

昭和30~31年に調査した上記8箇所の被害状況の黒斑は *Cladosporium herbarum* (クラドスポルム ヘルバルム) であることが判明した。

防黴方法の実験として PCP, PCP-Na, デハイドロ酢酸及びそのNa塩、ソルビン酸、サリチル酸アニリドの6種の薬剤を用い、下記の試験を行っている。

##### 1. 彩色顔料(13色)に対する影響

##### 2. クラドスポリウム ヘルバルムの接種試験

##### 3. 上記の彩色木片への試験(鉛丹, 胡粉塗, 平彩色, 漆箔平彩色, 置上げ縹縹極彩色, 漆箔平極彩色)

上記試験の結果、0.5%デヒドロ酢酸アルコール溶液を2~3回吹付けることにより、黴害防除の可能性が認められ、現場での防除試験が行われた。

##### 3) 本地堂の焼損材の補修材料

昭和39年、重文、本地堂の焼損材の補修用として、チオコール変性エポキシ樹脂と、焦がしたオガ屑の混合物が採用され、欠損部分の充填材として用いることが可能であるかを実験し、

整形後漆塗りが可能であることが判明したので、一部本地堂の修復に用いられた。

#### 4) 東照宮, 二荒山神社, 輪王寺大猷院境内の空中微生物と防黴剤の試験

前記昭和30～31年の被害調査を行った各建造物, すなわち, 東照宮(7ヶ所及び奥社), 二荒山神社 本殿, 輪王寺大猷院 本殿の境内9個所において, 落下法により空中微生物(特に糸状菌)を, 昭和33年11月より昭和37年2月まで四季の変化を把握できるよう計17回採取し, 培養分離し, 糸状菌の63種を同定した。そして空中微生物は観光客の多い5月と10月に多いが, 公開されない場所ではその数も少なく, 常に略同数であることも判明した。黒斑を生ずる *Cladosporium herbarum* その他, 同属に属する種が何処にも発見され, 注意を要することを指摘した。また防黴剤の選択として, 有機錫化合物の Tributhyltin oxide(トリブチル錫オキシド)の有効性を確かめ, 0.5% Tributhyltin oxide 90% alcohol 溶液が強力に黴の發育を阻止することを確認した。防黴剤の使用は, 建物の修復完成直後に直ちに防除の方法を取り, 防黴剤の吹付けを行うことが望ましく, また雨期前には吹付けることも防除の点から必要であることも提案している。

このほか, 彩色に使用されている顔料等の材質分析として, 御旅所の土朱, 東照宮陽明門 天井絵, 側壁唐油画, X線透視写真撮影として, 陽明門側壁唐油画があり, それぞれの修理報告書に所載されている。

以上, 単発的な調査事項とは別に, もっと基本的な保存対策や山内に共通する劣化現象の原因究明とその対策を, 或程度長期的に調査研究を行うべきであることが, 昭和49年文化庁文化財保護部建造物課, 日光社寺文化財保存会と当研究所との協議がなされ, 継続事業として当研究所受託研究に, 委託されることになった。

### 3. 受託研究の開始

昭和49年10月, 日光社寺文化財保存会, 工事事務所から示された研究項目は下記の通りであった。

#### 1. 漆膜老化分解防止の研究

漆の紫外線劣化を防止するため, 漆に他の物質を添加又は重合させることにより, 漆液を強化させる方法を開発したい。

#### 2. 彩色の使用材料に関する研究

顔料の胡粉については, 生彩色の変色, 添加物, 漂白剤, 漆箔と胡粉との化学作用, 生物劣化など。

膠については, 添加物の影響, 化学的膠着剤の開発

#### 3. 鉄製金具の防錆及び漆箔押の持続方法

風鐸の附属金具, 蔀戸吊り上げ金具等について, 防錆処理後の漆箔押の方法, 現場施工の制限の中での施工法。

いずれも大きな研究課題であり, 長期間の調査研究が必要で, 逐次数件の課題を採り上げて行くこととした。

### 4. 経 過

初年度昭和49年度は, 研究期間が短期間であったので, 山内の建造物について, 劣化現象の起こっている部分, 生物による被害状況等を調査した。

また山内の雨, 霧, 雲, 杉木立などはいずれも高湿度の気象条件を作り出しており, すべての劣化現象の根本的な原因と考えられるので保存環境の基礎的データである温度, 湿度の測定



を開始した。

さらに、日光で修理に使用している漆、顔料、膠についての材質調査を行い、和紙等に彩色塗装したテストピースを、東照宮、二荒山神社、大猷院の社殿の廊下に設置して、曝露試験を開始した。

材質調査の結果は、漆、膠については、日光以外で使用している材料と粘弾性等を比較したが、特に差異はなかった。しかし、何れも膜の形成には、水分量が微妙に影響するので日光の高湿下で温度、湿度を十分に考慮した施工方法を見出さなければならないことが判った。

顔料の材質は提供された19試料についてX線分析を行ったが岩顔料は問題なく、胡粉についても不純物は見出されなかった。新岩ものの3種は鉛を主成分とするフリット（低温熔融釉の一種）であり、水干ものの2種は体質顔料である硫酸バリウム、石膏を有機染料で染色したものか、レーキ顔料であり、両者とも高湿下では変質する可能性が大きいので注意を要することを指摘した。

昭和50年以降は、二つの大きな課題に取り組んだ。東照宮 本殿透塀唐油彩色の変退色と防黴、もう一つは、輪王寺 大猷院二天門漆塗装の変色である。

透塀唐油彩色の変退色は、太陽光線の直射、敷石等の照り返しが大きく寄与しているものと考え、光量の測定や防止策として唐油に酸化防止剤や防黴剤を配合したテストピースの曝露試験を行った。

二天門の変色は、難問題であった。漆芸技法的な検討、剝落片による顔料の配合の解明、原因として、微生物か、他の化学成分の影響かの究明が種々の方面から行われ、ケヤキの浸出物が、変色原因の主体ではないかとの結果が得られ、そして糸状菌の *Cladosporium* 属が着生し、増殖が拡大して、黒化現象が形成されている可能性が高いと結論づけている。現在、夜叉門との比較が行われ研究は継続中である。

上記の研究内容は、各担当者の報告論文に詳細に述べられている。

（江本義理）

### III 塗漆建造物の調査

#### (1) 大猷院二天門の塗装技法と現状

二天門は家光公霊廟として承応2年(1654)に完成したと考えられている。当初の装厳については必ずしも明確ではないが、遺存した塗膜を調査した結果では砥粉による目留を行った程度であろうといわれる。その後、明治35、36年度の全面的塗替えまで、4回ほどの施工が重ねられたとされる。まず百年程経た寛政・文政頃に透漆を1回塗って木地溜としており、その後には3回にわたる修理によって、所謂溜塗が各々旧塗膜の上に塗重ねられて来た事が知られる。

明治35、36年度の全面的塗替え工事では更に込溜塗に改められている。降って19年のちの大正11年には台輪より下の部材が溜塗によって塗り改められている。

以上が二天門における塗漆施工の歴史であるが、江戸時代の創建初期の木地溜塗がその後の修理で溜塗に改められた理由は塗漆の風化が進み、木地が透けて見える塗方では治まらなくなったためであろう。木地の風化を刻苧や漆下地で修正すると、それを覆いかくす必要に迫られ、木地溜塗に似た感じの溜塗に改めざるを得なかったと思われる。

溜塗というのは中塗に弁柄漆を塗り、その上に透漆を塗重ねたもので、木地溜塗より透明感は無くなるが、堅牢で深い味わいがある。ただ上塗の透漆をムラなく平均に仕上げることは建造物の様な大きな容積のものでは極めて難しい。おそらくこの仕上がりが問題となって込溜塗が明治になって採用されたものであろう。

込溜塗と云うのは透漆に若干の朱または弁柄を入れて上塗りするもので、顔料によって透明さが無くなるので、塗ムラが目立たなくなる。

つまり込溜塗と溜塗の相異は上塗にあり、それが透漆のみか、少し不透明な漆であるかの違いだけである。

溜塗は江戸時代には好まれたらしく、日光山内では皇嘉門、坂下門にその例があり、又木地溜塗は仁王門がそれであったといわれる。二天門と近い時期に創建された仙台の東照宮本殿(承応3年・1654)も木地溜塗が内部に残っており、又樗溪神社(慶安3年・1650)も樗造で透漆のみを塗っているという。

明治末期の込溜塗による溜塗は、後年思いもかけぬ異変に襲われ、近年になって大きな問題となった。すなわち込溜塗の表面に生じた黒変現象である。その著るしい部分は黒漆を塗った様に変色し、又表面にアバタの様な黒色の凹凸を生じている所もあり、建物全体に劇的な変化をもたらしていた。

このような現象は一般的な建造物塗漆には例がなく、おそらく込溜塗の施工に原因があるのではないかと考えられた。

すなわち明治末年の修理に用いられた漆が朱合漆(荏油が混和された透漆)であり、その油が表面に抽出して来て変質し、黒化したのではないかという推論である。

そこで昭和54年1月に松田権六氏の指導及び方法による施工が二天門の一部に試行された。

その概要は次の通りである。



図-1 二天門全景（昭54年2月）（北面）

「既存の漆膜を研下し、漆下地を施こして弁柄漆を一回塗り、その上に上塗として本地呂漆を2回塗重ねる。」

この施工は外部業者による請負事業と、日光社寺文化財保存会による直営の工事との2通りの施工を並行して行った。

請負業者による部分は北側正面左角の外柱1本と頭貫、腰貫の3箇所（ただし腰貫では上塗はまず本地呂漆を前面1回塗り、左側半分のみ更にもう一度本地呂漆を塗り重ねた（第15図））直営の工事は西側面の腰貫である。

本地呂漆は国産の最高級の漆を用い、溶剤はガムテレメンである。

この試塗は両者とも、2年目には前面白っぽいカビが発生し、次年度の冬にはこれは消えたが徐々に表面黒色化は進行した。

5年目には請負で行った頭貫の表面で塗膜に細かな断文が生じ、チリチリと浮上って、更に黒変も進行した。

結局、込溜塗にかわる本地呂漆によっても黒色化は防止出来ず、数年後には再び黒変が生じる結果となった。

この事実は漆原因説が完全否定される結果となり、原因は他に有ることを認めざるを得なかった。

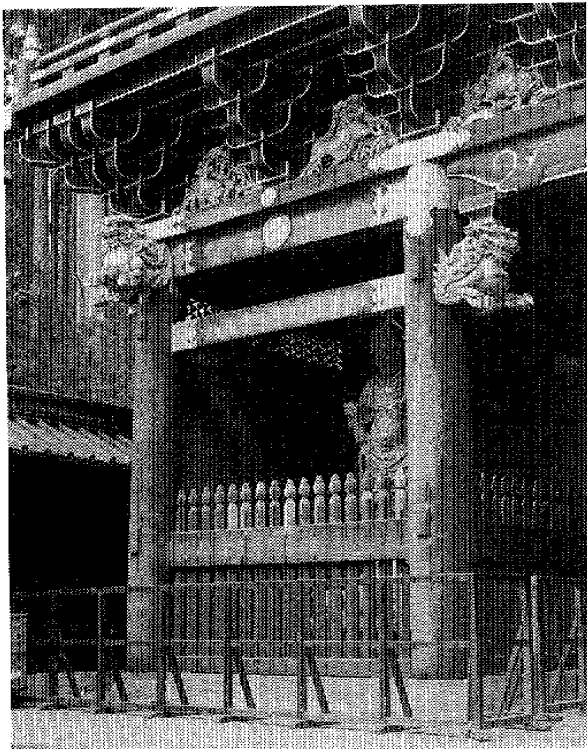
溜塗を行っている建物は先述の様に二天門の他に皇嘉門袖塀と坂下門があるが、これらの塗膜の黒変は二天門に比較すると多少良好の状態にあるといわれる。

現在二天門に見られる黒変の状況は北面がひどく、南面は比較的進行が遅い。すなわち陽の

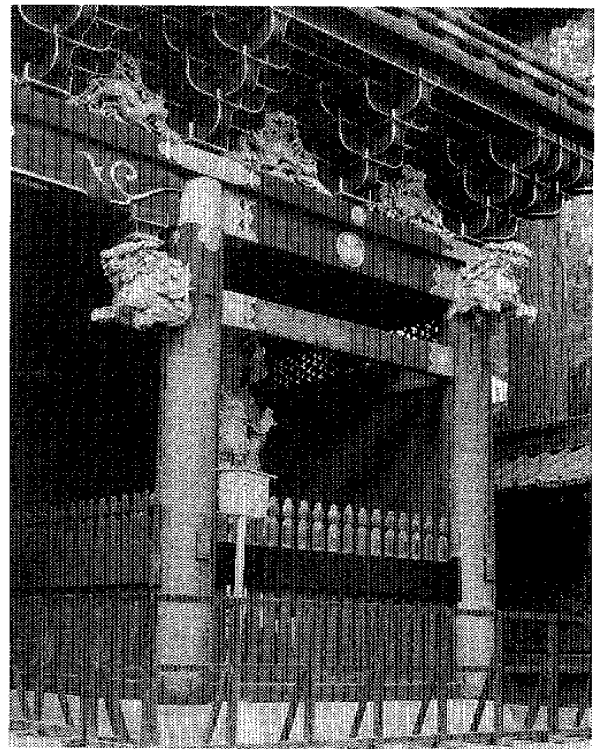
当る部分は程度が軽い事が指摘される。この原則にそって二天門の各部では黒変が極端なアンバランスで観察出来る。

この記述の内、近年の試塗等については吉原昭夫氏の御教示を受けたものであり、その他は『重要文化財輪王寺大猷院霊廟その他修理工事報告書』『建築と漆』『日本の建築』(4)近世(第一法規 昭51年)を参考にした。

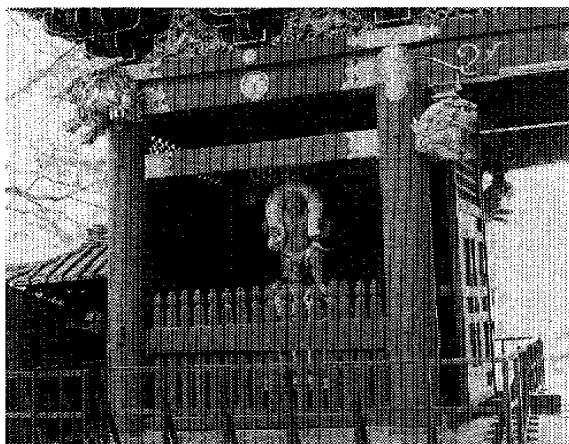
(中里 壽克)



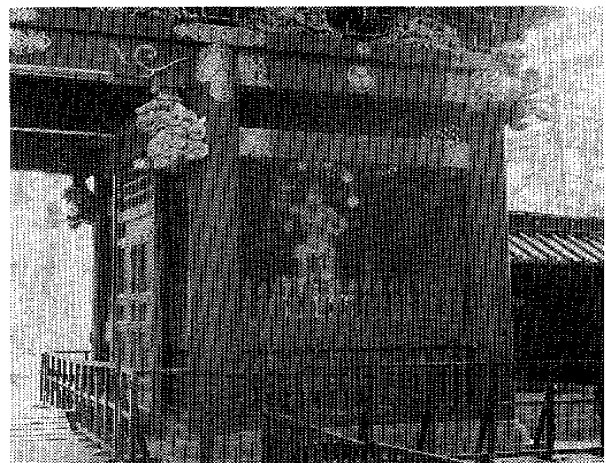
図一 2 二天門北面（向って左側）  
(昭54年 2 月)



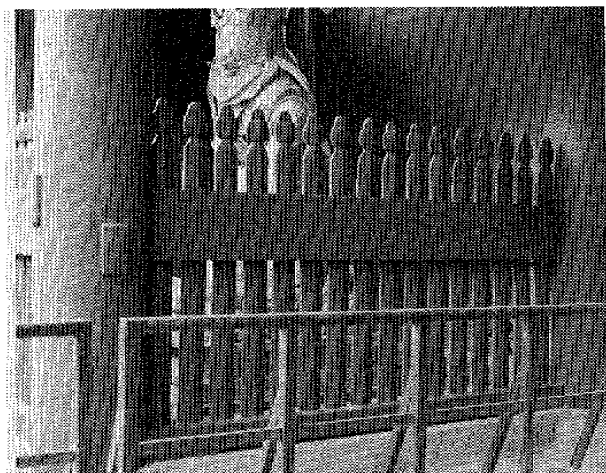
図一 3 二天門北面（向って右側）  
(昭54年 2 月)



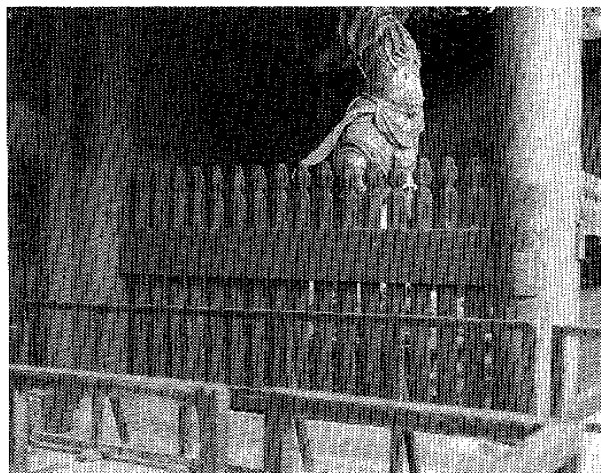
図一 4 二天門南面（向って左側）  
(昭54年 2 月)



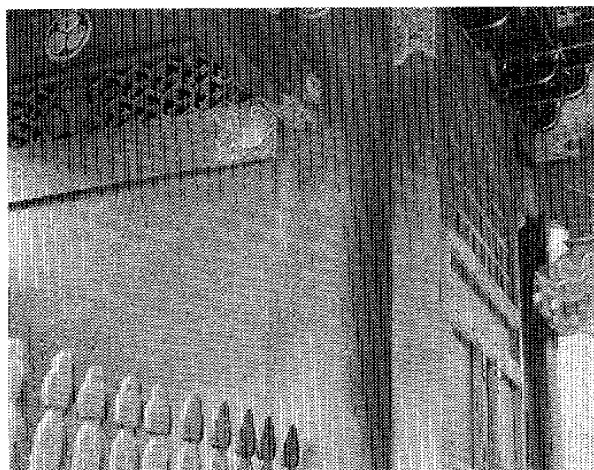
図一 5 二天門南面（向って右側）  
(昭54年 2 月)



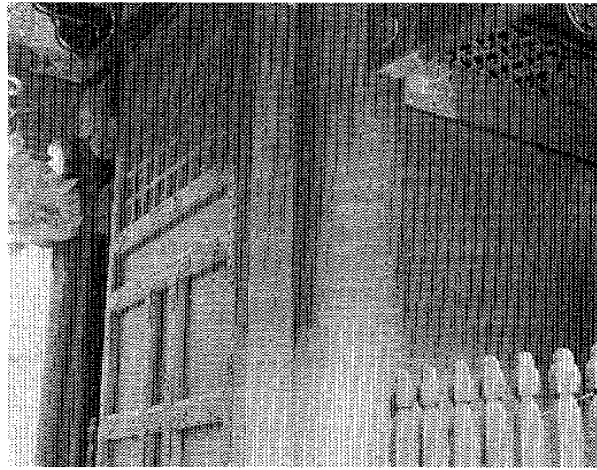
図一六 二天門北面（向かって左側通路）  
（昭54年2月）



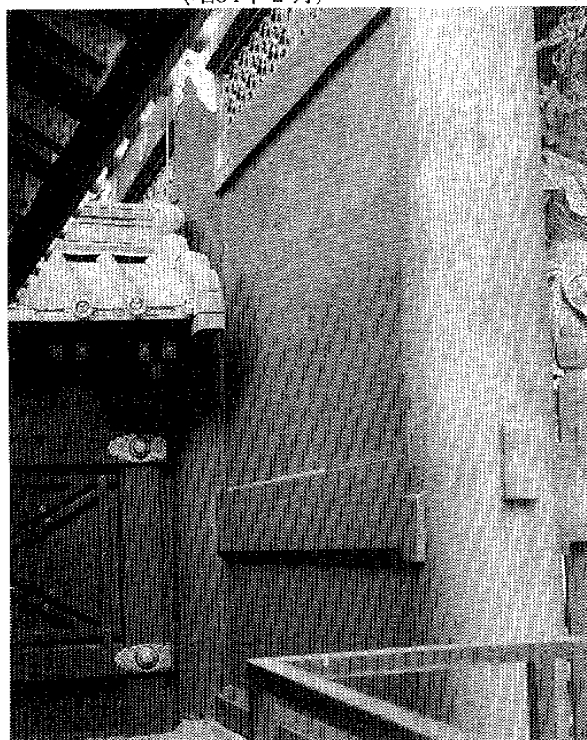
図一七 二天門北面（向って右側通路）  
（昭54年2月）



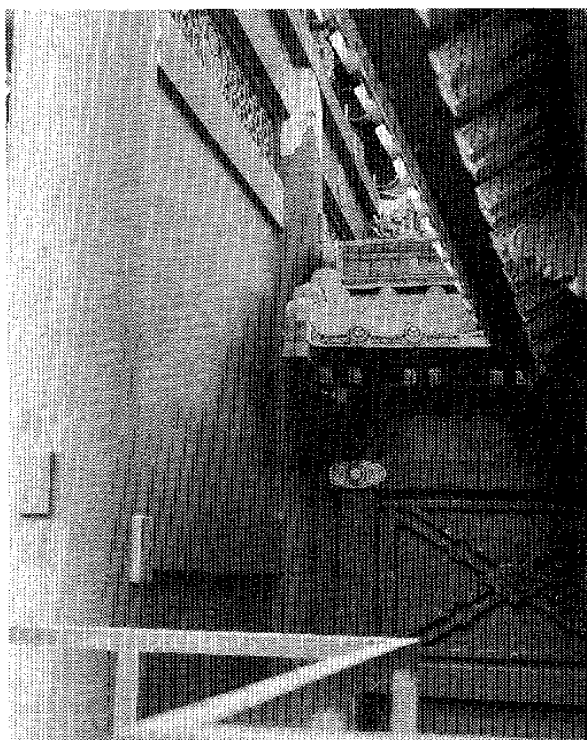
図一八 二天門南面（向かって左側通路）  
（昭54年2月）



図一九 二天門南面（向って右側通路）  
（昭54年2月）

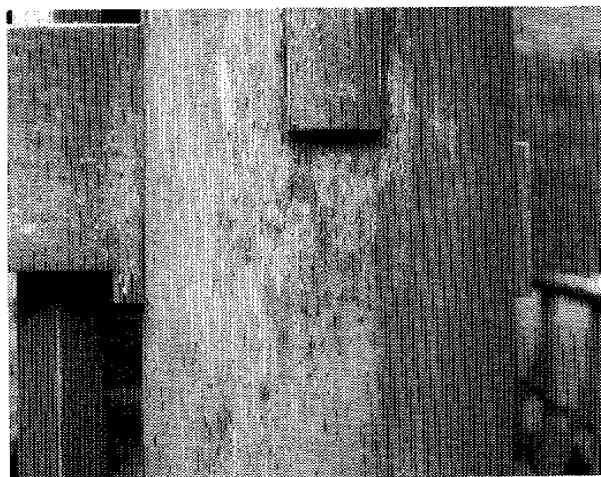


図一〇 二天門東面（向かって左側外壁）  
（昭54年2月）

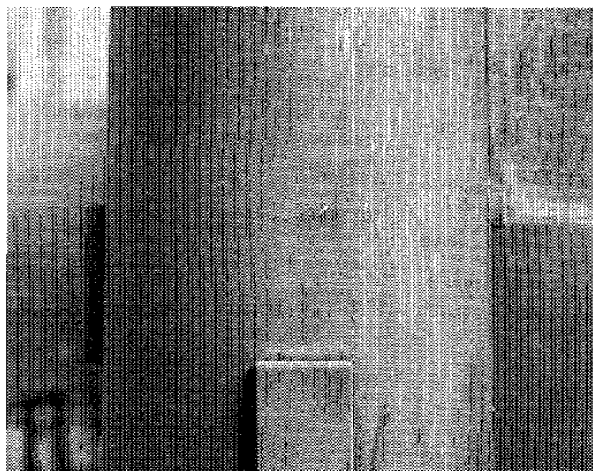


図一一 二天門西面（向って右側外壁）  
（昭54年2月）

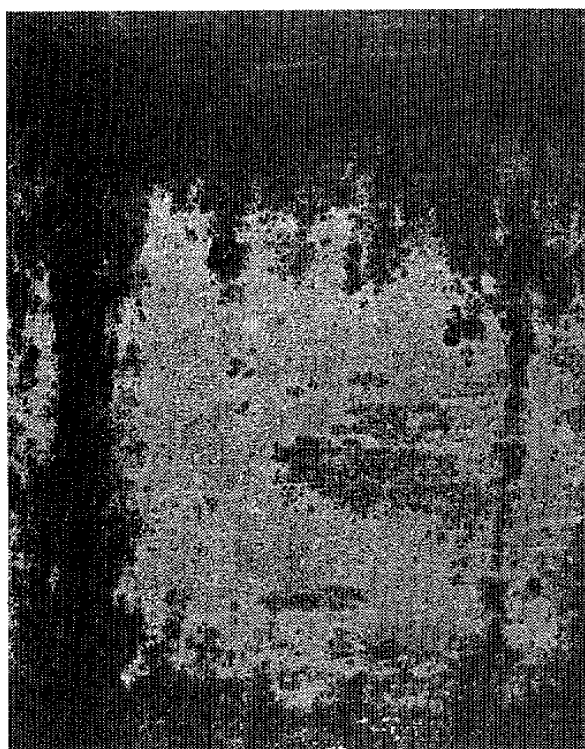




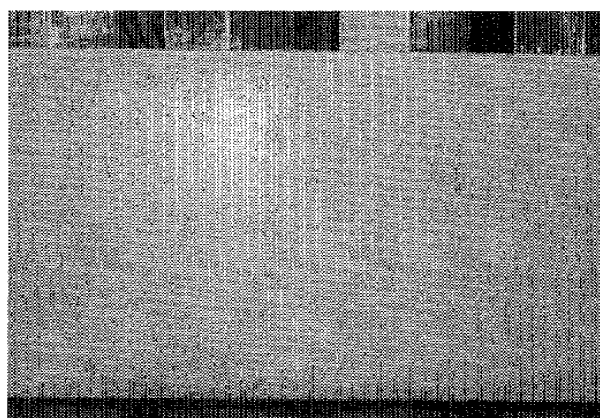
図一12 二天門北面（向かって左側内隅柱）  
（昭54年2月）



図一13 二天門南面（向って右側外隅柱）  
（昭54年2月）



図一14 二天門北面（向かって左側腰貫表面）  
（昭54年2月）



図一15 二天門北面（向って右側腰貫・昭54年  
1月に業者によって塗替えた部分，左側が2回  
塗，右側が1回塗）（昭和61年）

## (2) 大猷院二天門黒化現象の実態調査

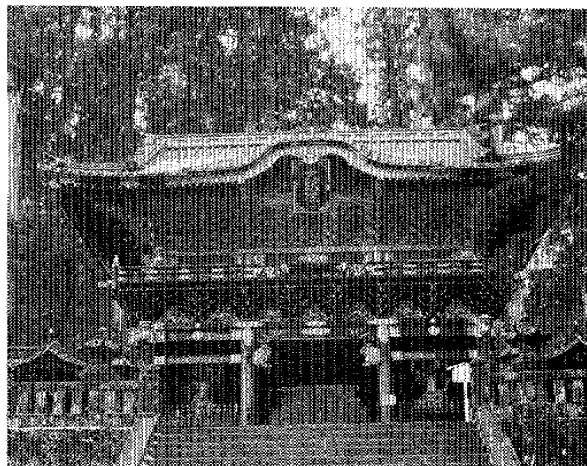
### 2. 1 黒化現象の調査

二天門の塗漆工事は昭和35年から37年にかけて、3ヶ年を要して行われている。昭和37年の塗漆施工は旧塗漆層をすべてかきとって、漆下地を施した後、弁柄2回、上塗に透漆を2回行っている。その後25年を経過し、下記のような劣化現象がおきている。

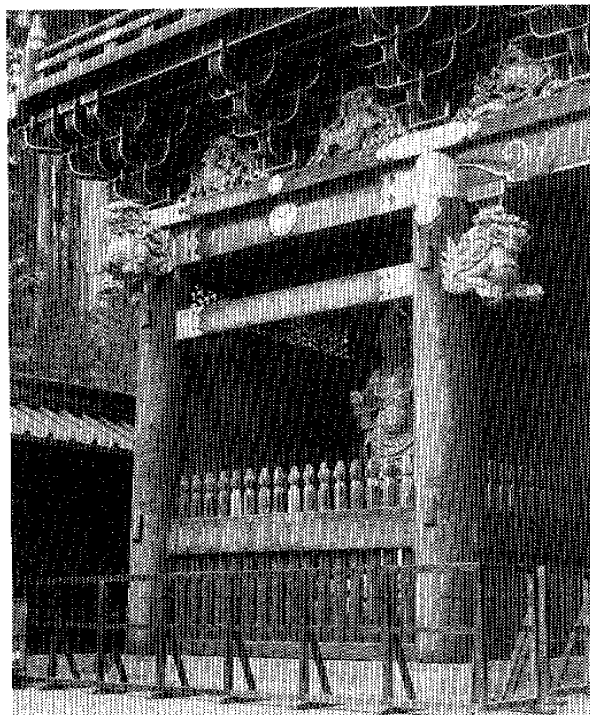
図一16は正面全景写真である。

正面（図一17, 18）の台輪、頭貫は墨を塗ったように真黒で、柱は全体が煤けたように薄汚れている。貫表面は水が垂れたように縦縞に黒色物質が付着している。表面の黒い部分を削ると、下から赤褐色のベンガラ塗りが現われる（図一19）。金剛柵は正面から横面にかけて真黒になっていたようであるが、色相はやや薄く、地色は弁柄色がみえる（図一20, 21, 22, 25）。扉と背面の内部（後壁、中柱）は全体に溜塗りが比較的保存され、光沢もある（図一24, 24）。

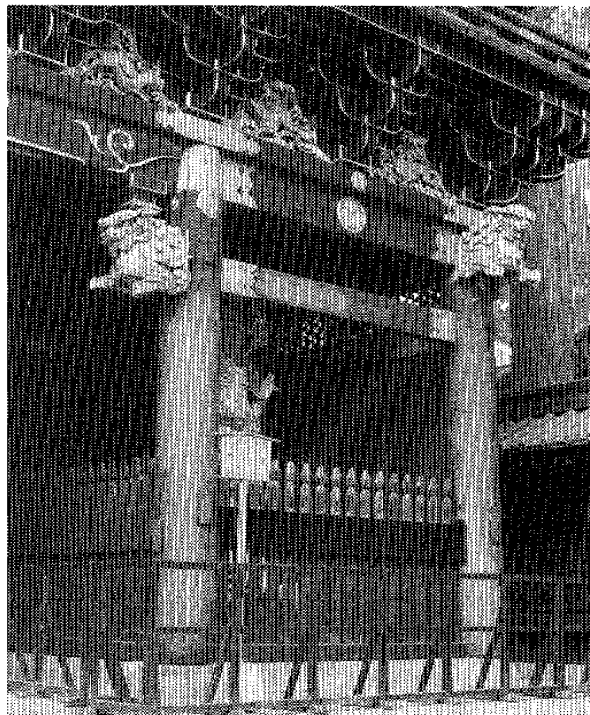
以上のように扉や後壁に黒化が少ないが、ほとんどの塗漆面が黒化しており、現在では溜塗りの外観は全く失われている。また黒色物質は水に溶ける。



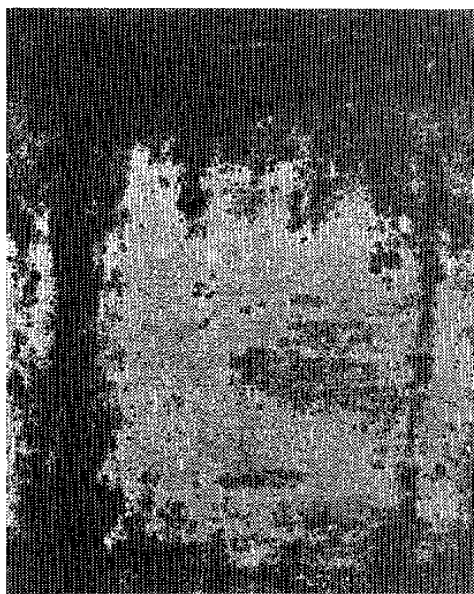
図一16 大猷院・二天門の全景



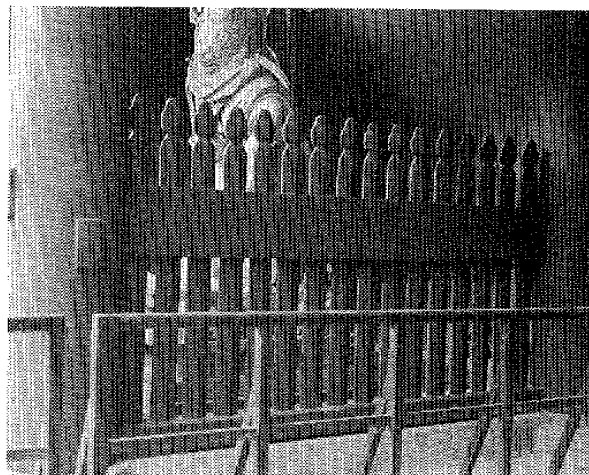
図一17 北面東側，黒化現象の状況



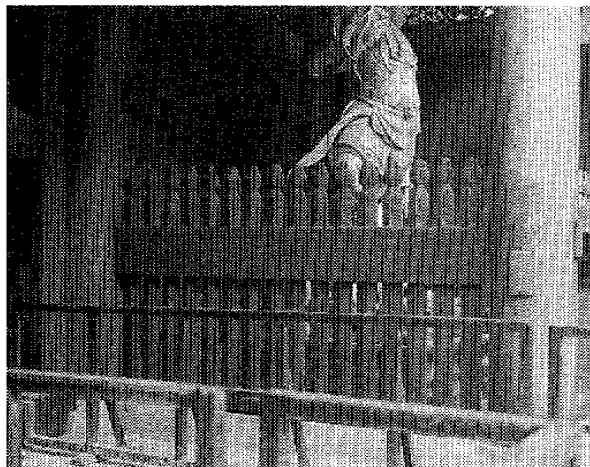
図一18 北面西側，黒化現象の状況



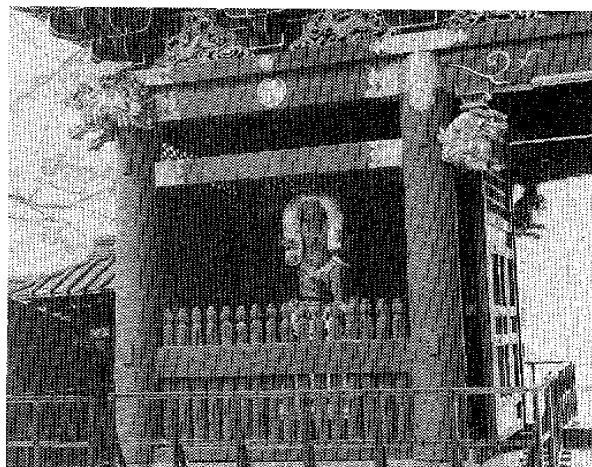
図一19 表面の黒い物質を削った下に赤褐色のベンガラ塗漆



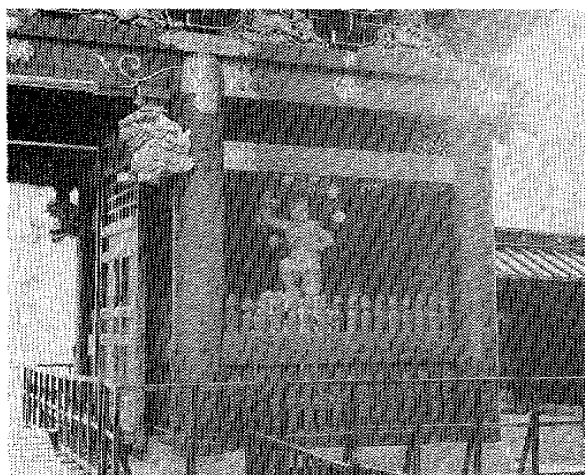
図一20 北面東側、側面の墨を塗ったような金剛柵



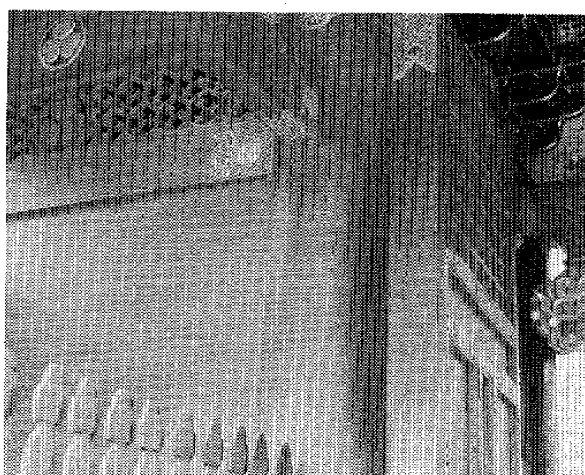
図一21 北面西側、側面の墨を塗ったような金剛柵



図一22 南面西側、黒化現象

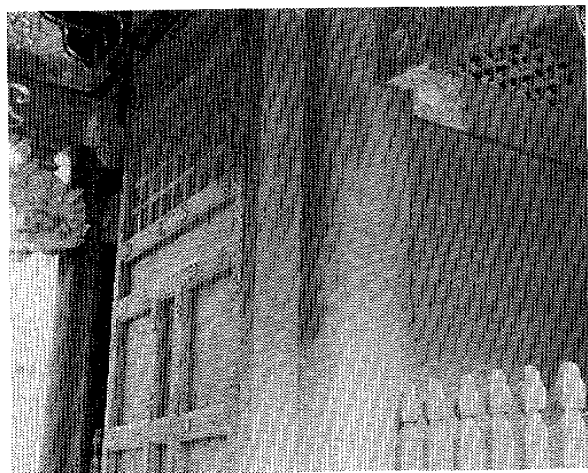


図一23 南面東側、黒化



図一24 北面東側の後壁・扉は比較的、溜塗が保存されている

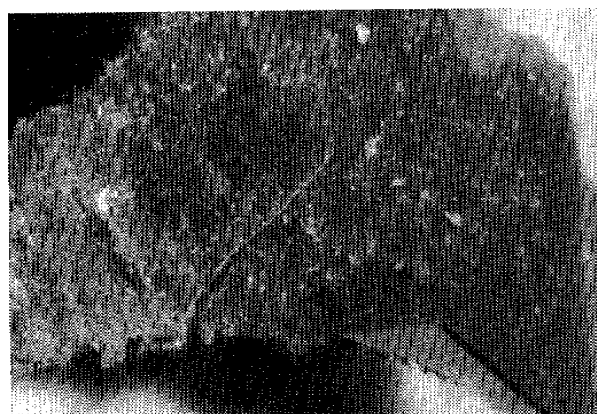




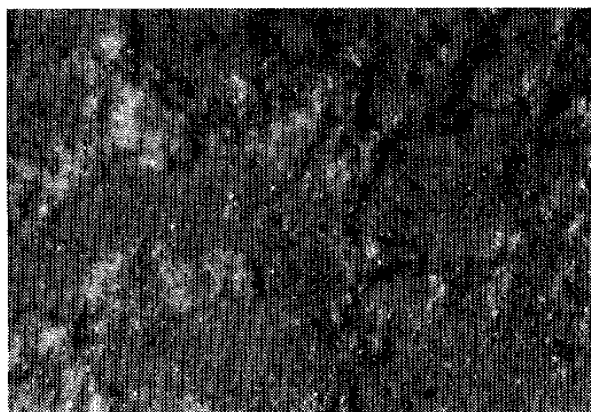
図一25 北面東側，後壁・扉は比較的，漆塗が保存されている

## 2. 2 黒化部の顕微鏡観察

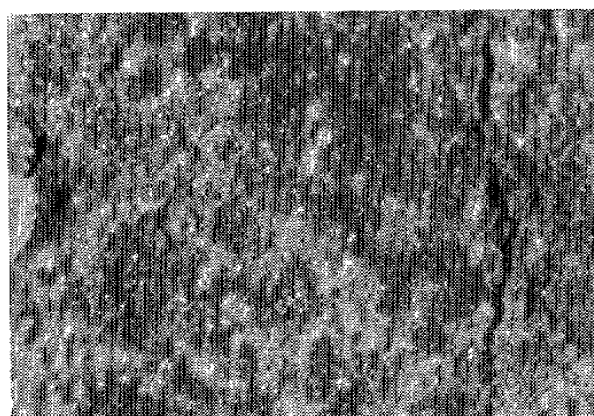
図一26の試料の黒化した部分を光学顕微鏡で見ると，盛り上った黒色粒状物が相互に連結し，黒色粉状物の周囲に半透明的の光沢のある黄褐色の部分が付随している（図一27，28）。また，黒色粒状物は秋材部分から盛り上っている（図一29）。



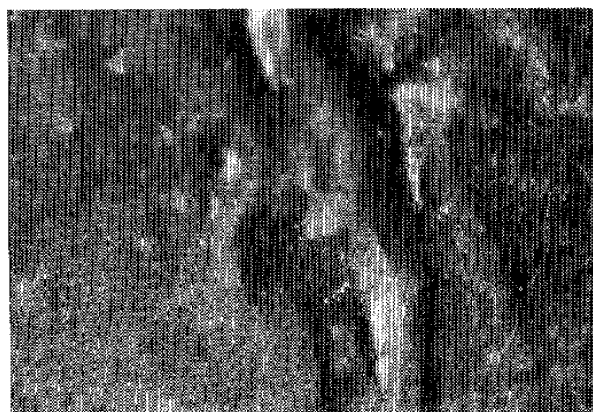
図一26 柱の付着物の試料



図一27 図一26の拡大図



図一28 図一27の拡大図



図一29 ケヤキ材の秋材部分が黒褐色に盛り上がっている

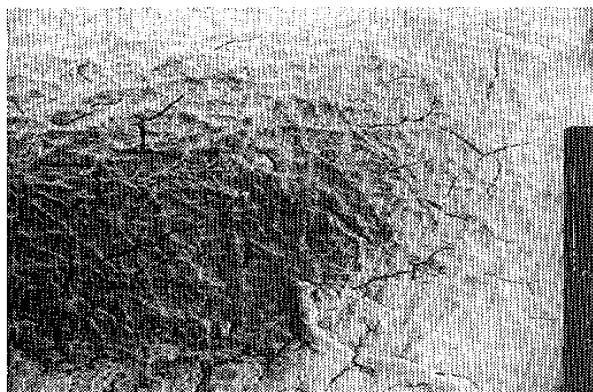


図-30 付着物のSEM像

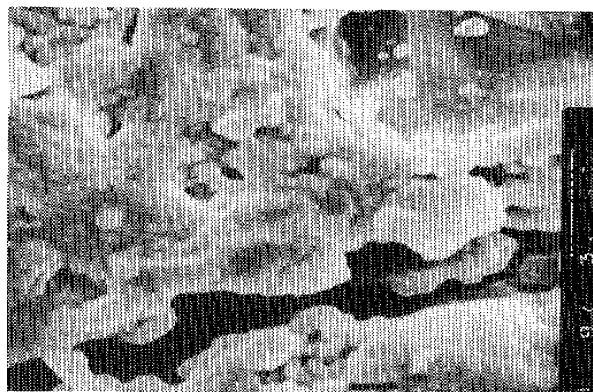


図-31 図-30の像を拡大したSEM像

### 2. 3 黒化部の走査型電子顕微鏡観察

黒化現象の部分を走査型電子顕微鏡 (SEM) 像でみると、光学顕微鏡では見られなかった細かい網状のすじがみえる (図-30)。この網状のすじを更に拡大すると、何か浸出物が析出固化したように見え、漆膜のようには見えない (図-31)。

(見城敏子)

### (3) 塗漆建造物黒化現象の基礎実験

元来、漆は一旦硬化すると、水を含むほとんどすべての溶剤に不溶性で強靱な塗膜となり、勿論、耐水性であるが、一方、日光 (特に紫外線) に対して極めて敏感であるという欠点がある。したがって、黒化現象の原因の1つとして、日光による漆塗膜の劣化が当然考えられるが、通常の日光暴露漆塗膜では単に膜が劣化揮散して、下地面が露出するだけで、黒化現象はみられない。

したがって、二天門の黒化現象は素材であるケヤキ材にその原因があるのではないかと考えた。

そこで、ケヤキ材に漆を塗装すると、春材部分では漆の浸透が速く、密な部分では濃い着色が起こり、一様な塗装は難しく、地の粉による下塗りを施しても年輪は判然として残る (図-32, 33)。このような現象は杉、ヒノキ材では見られない (図-34, 35, 36, 37)。

また、ケヤキ材は水溶性成分 (8%) が、ヒノキ (4%), スギ (3~4%) に比べて非常に多く、しかも水溶性成分はケヤキニン、ケヤキノール、ヒドロキシケヤキニン等で、ヒノキ材のターピネオール、ヒノキニン、ヒノキオール、ヒノキチオール、ヒノキノン、ヒノキレジノ

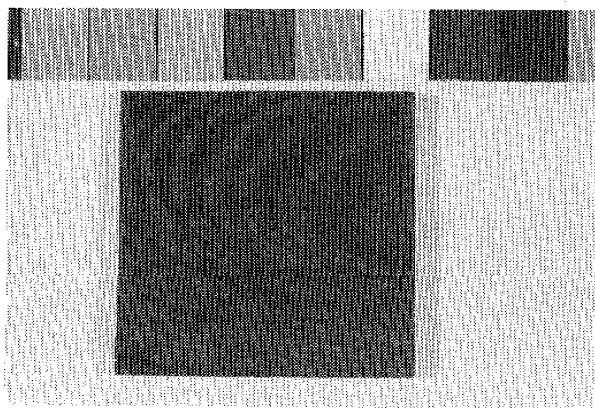


図-32 けやき材に塗漆

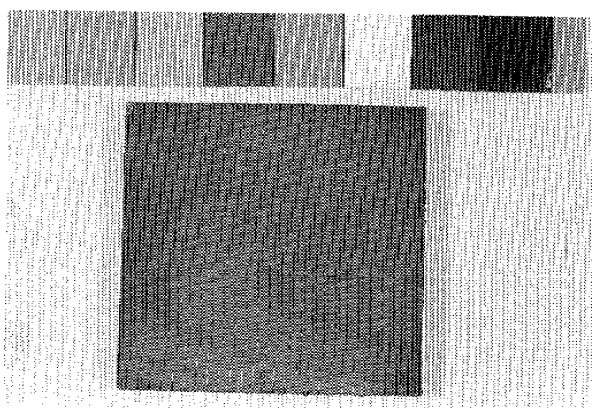


図-33 けやき材に下地を施した塗漆

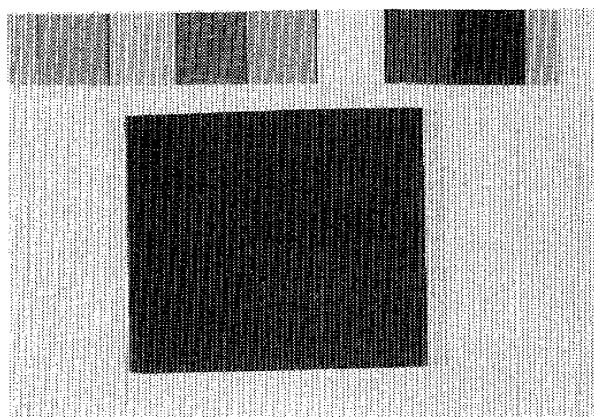


図-34 檜材に塗漆

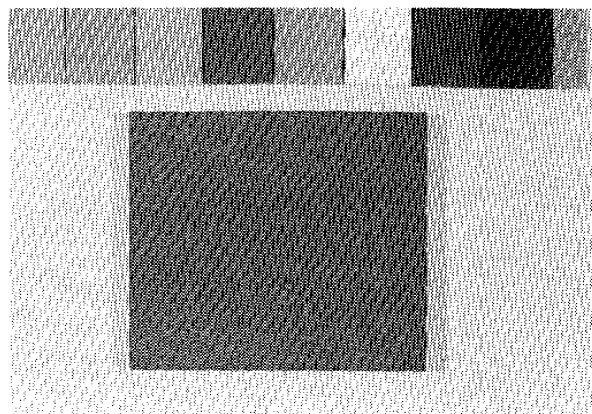


図-35 檜材に下地を施した塗漆

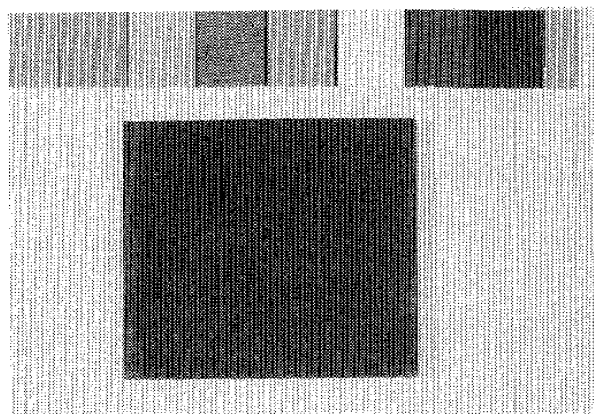


図-36 杉材に塗漆

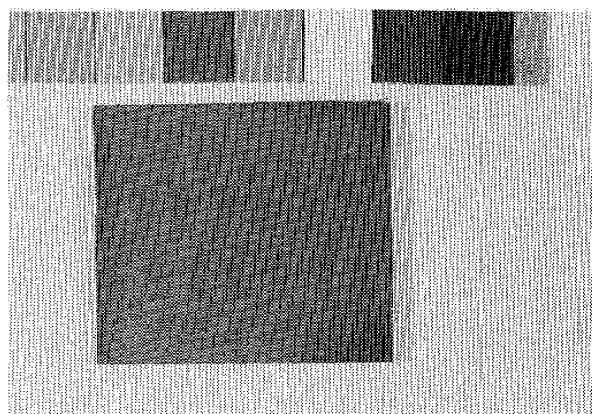


図-37 杉材に下地を施した塗漆

ールやスギ材のスギレジノール、ヒドロキシスギレジノール、スギオール等の油溶性、防腐性の抽出成分と非常に異なる。

ケヤキ、杉、檜の各材を蒸留水に2週間漬けて抽出すると、抽出液の色は図-38のように、ヒノキの場合はほとんど着色しない。特にケヤキの水抽出液は日光に当たると更に濃色になる。

また乾燥したケヤキ材(33%RH中放置)と湿ったケヤキ材(80%RH中放置)に紫外線を照射すると(図-39)、湿った材では秋材部分が赤褐色に着色するが、乾燥した材はほとんどが変化なく、光による変色には水分が重要な役割を果たすことがわかる。

ケヤキの手板に漆塗装し、完全に硬化してから、30℃、95%RHのデシケータ中に放置し、1年後高湿度中で紫外線照射し、光学顕微鏡で観察すると、秋材部分が黒色となり隆起しており、

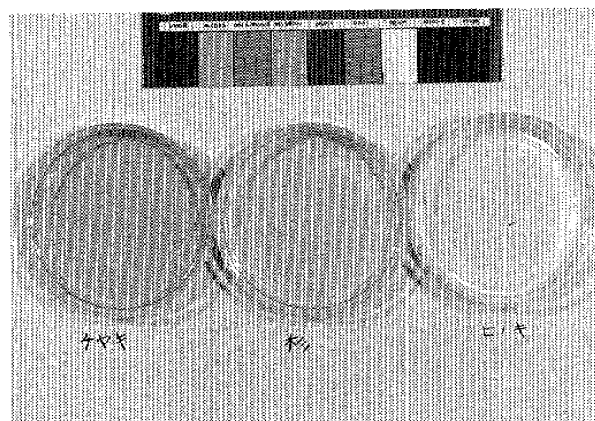


図-38 けやき、杉、檜の抽出水溶液

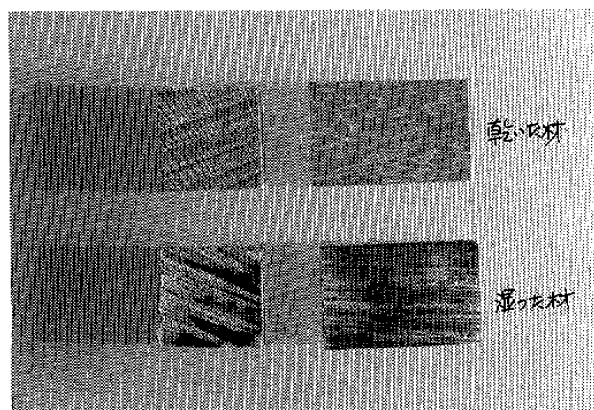


図-39 乾いた材、湿った材に紫外線照射

その上に黴が付着しているのがわかる(図-40)。この秋材部分を更に拡大してみると、黒く盛り上った部分は樹脂状(図-41)で、二天門の黒化部分(図-29)とよく似ている。

漆塗装面の黒化現象を走査型電子顕微鏡像(SEM像)で追求した。

試料の表面のSEM像をみると、表面に厚く付着物がこびりついている(図-31)。この試料

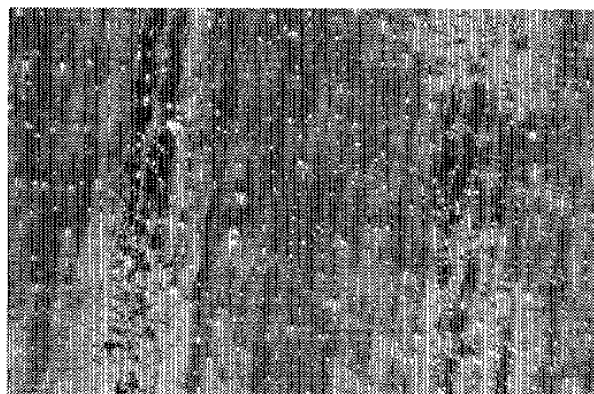


図-40 けやき材を高湿度中に1年間放置後、高湿度中で、紫外線照射した光学顕微鏡像

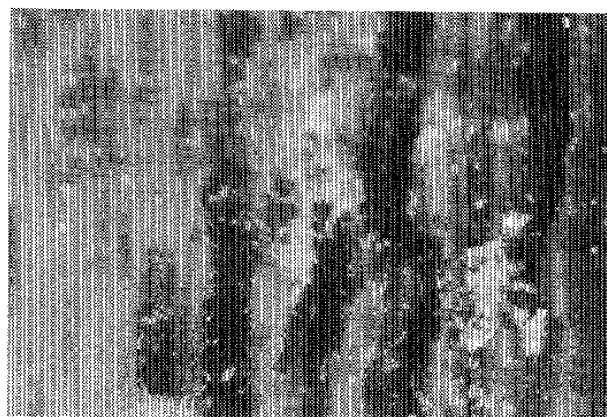


図-41 秋材部分を拡大したSEM像

をアセトンで表面処理すると、厚い生成物はアセトンによって除去され、Originalの赤褐色のベンガラ塗りの表面になった。これを更にSEM像でみると、細いヒビ割れと小さい穴がはっきりみえる(図-42)。この試料の断面(図-43)をSEM像でみると、ケヤキ素材の抽出液が素地のケヤキ材から地固めを通して上昇したらしい縦の筋が漆層にみえ、穴が無数にある(図-44, 45)。この小さい穴はケヤキの抽出液のふき出た穴と考えられる。

また、黒変部の付着物の試料を水で溶解したものの赤外吸収スペクトル(IR)(図-46)をケ

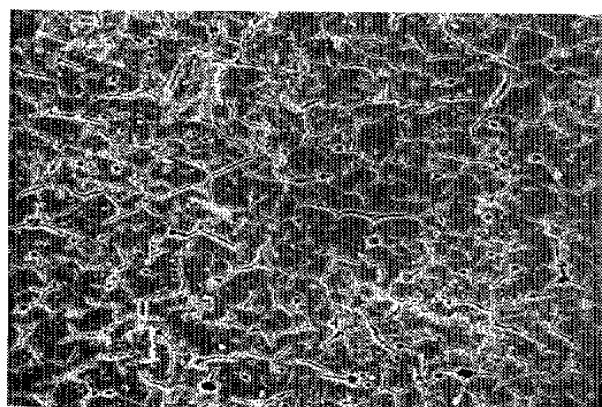


図-42 アセトンで表面処理後のSEM像

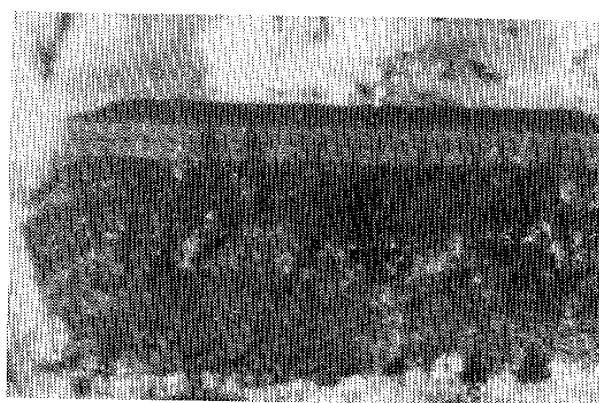
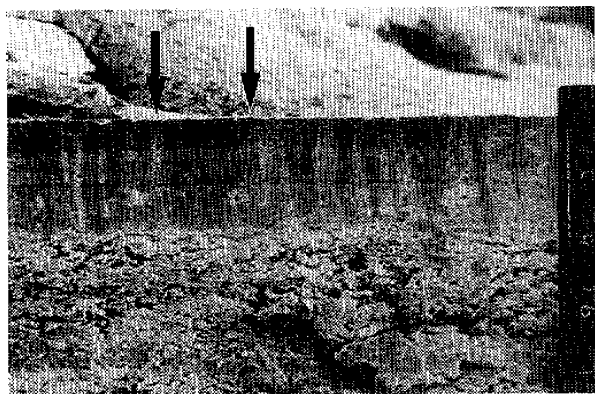


図-43 黒化現象物質のSEM像

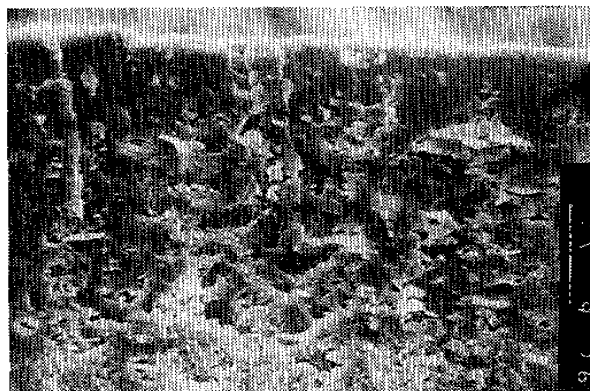
ヤキの水溶性物質のIRスペクトル(図-47)と比較すると、両方の主要ピーク、3400, 2930, 1640, 1520, 1450, 1380, 1270, 1160, 1120~1090, 840 $\text{cm}^{-1}$ が一致しており、この事実から黒変部付着物はケヤキの水溶性物質であることがわかった。

(見城敏子)

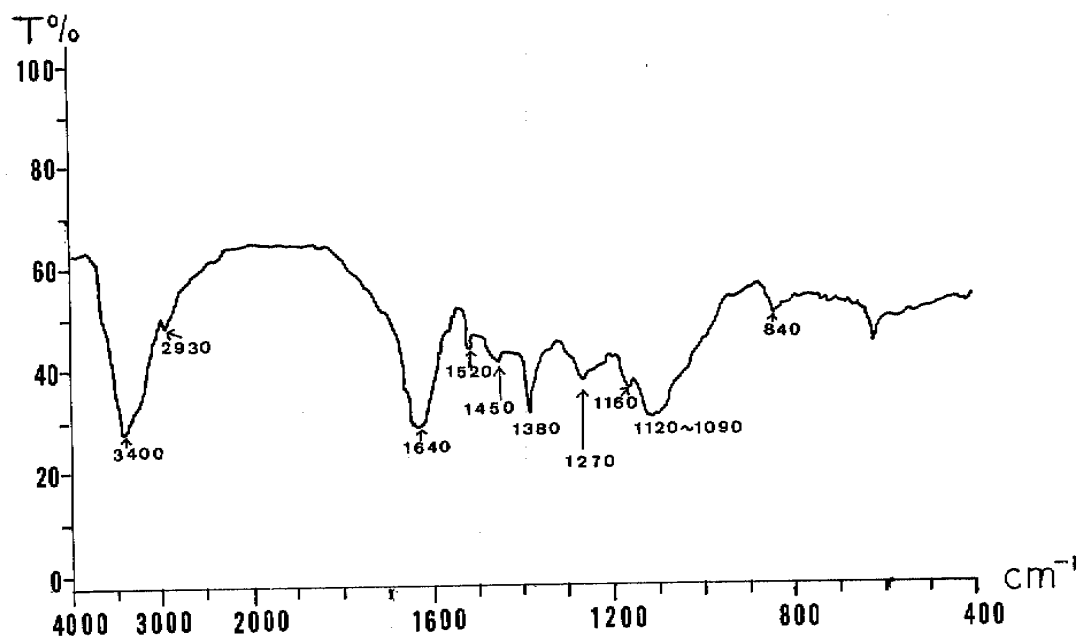




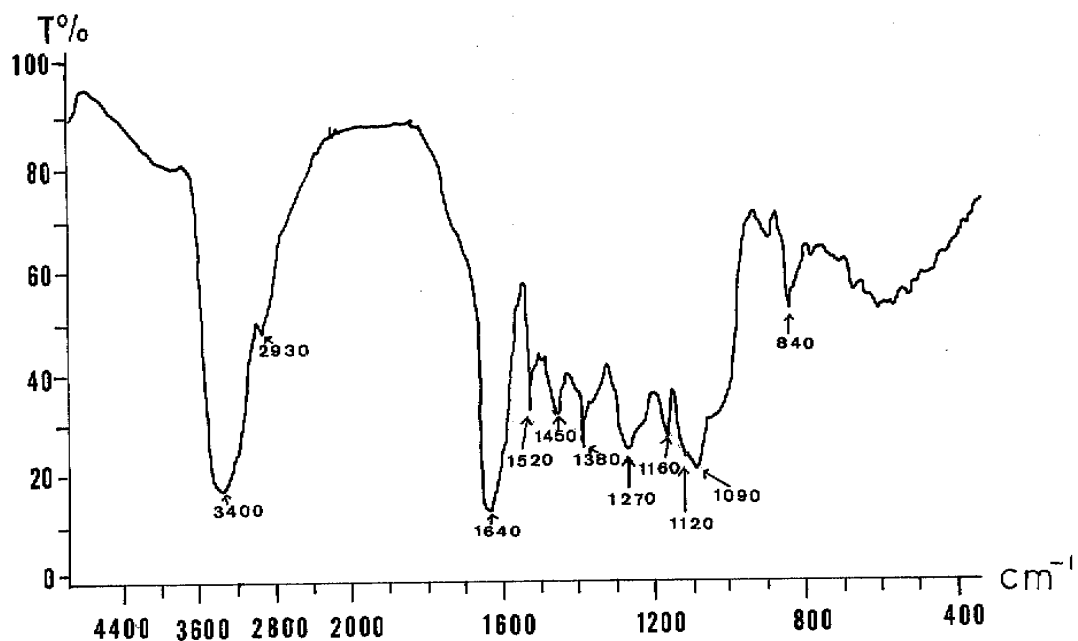
図一44 黒化現象の付着物のSEM断層像



図一45 漆層を拡大したSEM断層像



図一46 黒変部水溶性抽出成分 IR スペクトル



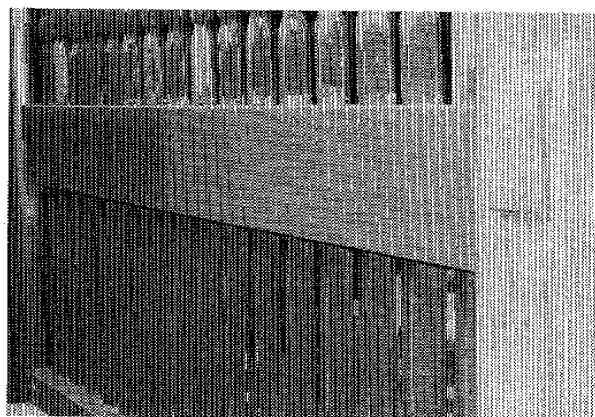
図一47 ケヤキの水溶性物質の IR スペクトル

#### (4) 塗漆建造物黒化現象のモデル実験

日光社寺文化財保存会は二天門の漆塗装の黒化現象を調査するため、昭和53年から二天門の腰貫で試験塗りを実施してきた（図—48、49）。



図—48 試験塗りのために腰貫の塗漆をかき落した。

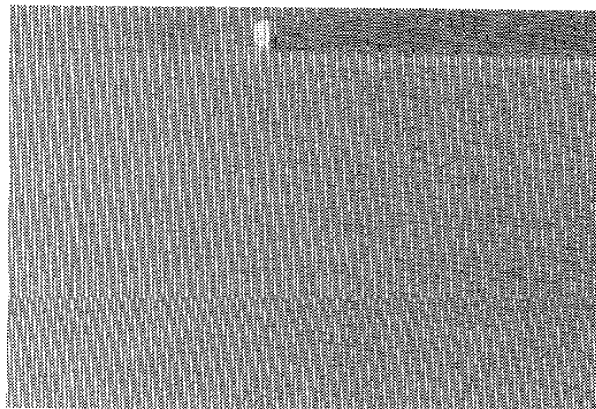


図—49 北面西側腰貫の試験塗り  
(向かって左側2回塗り、右側1回塗り)

1. 中塗り後、溜塗(1回塗り)。2. 中塗り後、木地呂漆塗装、その後3ヶ月間紙で養生(向かって左側2回塗り、右側1回塗り)。3. 中塗り後、20%ベンガラ入り漆塗装(2回塗り)。種々の塗装法を行った。

北面西側腰貫の試験塗りの経年変化をみると、6ヶ月後には全面に抽出液が出ている(図—50)、1年8ヶ月頃になると、秋材の褐色部分が目立ち始める(図—51)。2年3ヶ月では塗装全体が黒ずみ、黒い斑点が出る(図—52)。いずれにしても塗装には関係なく、塗装の表面が黒く変化することがわかった。

以上のことからケヤキの水溶性成分が漆塗装時、特に下塗り中の水分の中に溶解して、表面に抽出され、漆塗膜中に混入するか、あるいは塗装後、塗膜が完全に乾燥する前に、あるいは日光で塗膜が劣化した後に、膜表面についた雨



図—50 北面西側腰貫試験塗り 6ヶ月後

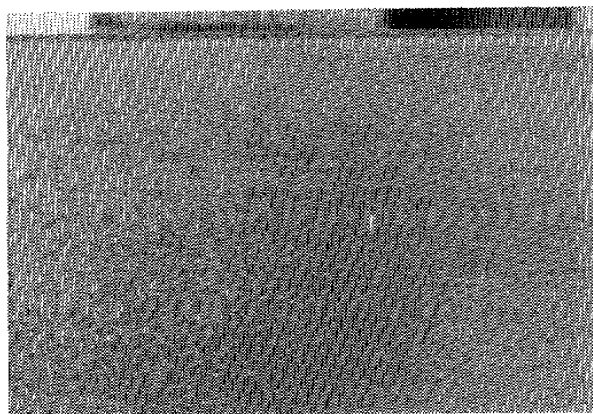


図-51 北面西側腰貫試験塗り 1年8ヶ月後

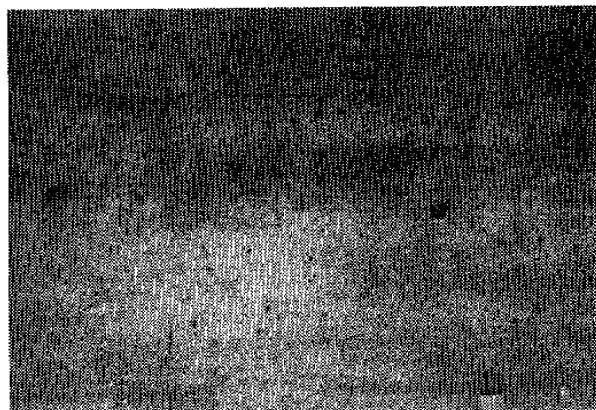


図-52 北面西側腰貫試験塗り 2年3ヶ月後

水が膜を通して下地ケヤキ材中に浸透するかして、水溶性成分を抽出して表面から蒸発することによって、膜面にケヤキの水溶性成分が多量に集まり、これが黒斑の原因となったのではないかと考えられる。

(見城敏子)

## (5) 塗漆建造物黒化現象と微生物の関連性について

### 5. 1 はじめに

大猷院二天門の溜塗り漆塗装が黒変する現象については、本受託研究を開始した昭和49年度の当初から、原因不明の問題として提出されていた。筆者は、この現象を漆の材質に起因する問題と考えていた。ところが、昭和54年度の調査の際に、二天門で採取した試料中にカビが存在していたので、二天門の黒化現象を微生物学的観点からも究明することになった。

### 5. 2 二天門で採取したやに状析出物

筆者らが、昭和54年8月に二天門を調査した際に、二天門の東面北側の壁面に光沢のある部分を発見した(図-53)。その光沢の認められる表面を掻き集めると、黄色のやに状析出物が採集できた(図-54)。このやに状析出物は、光学顕微鏡で観察すると、その中に、現在生息してしかも明らかに増殖中のカビの菌糸と分生子が存在していたのである(図-55)。このような事実が発見されたので、二天門の黒化現象を微生物学

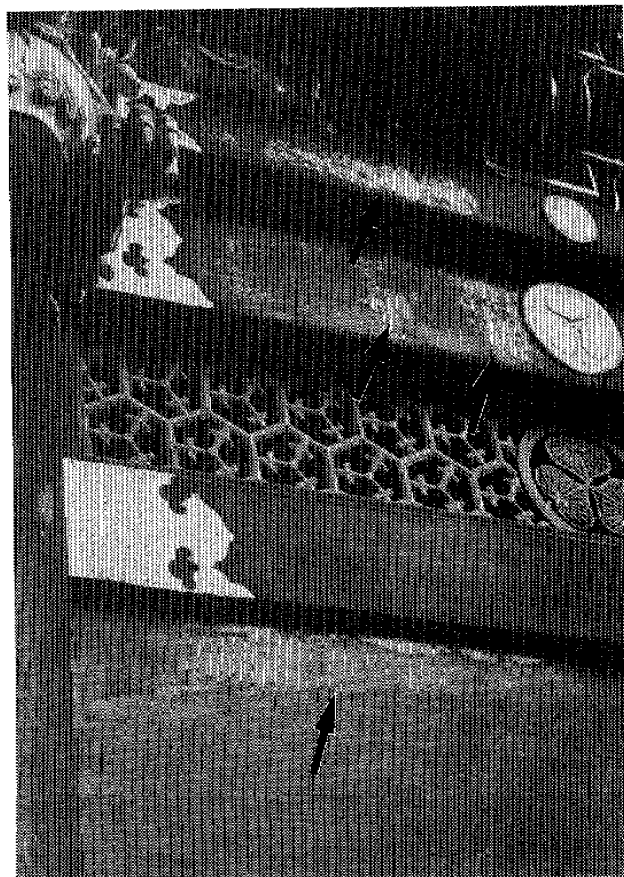
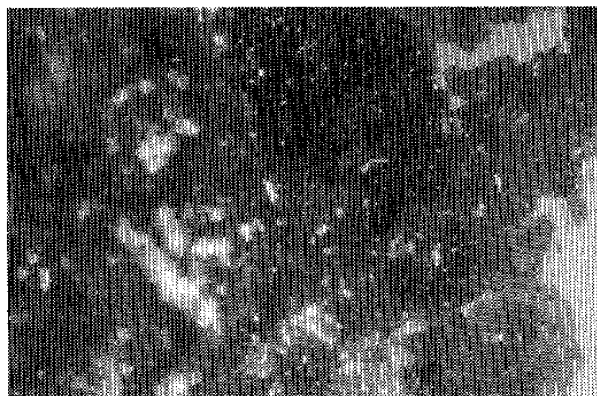
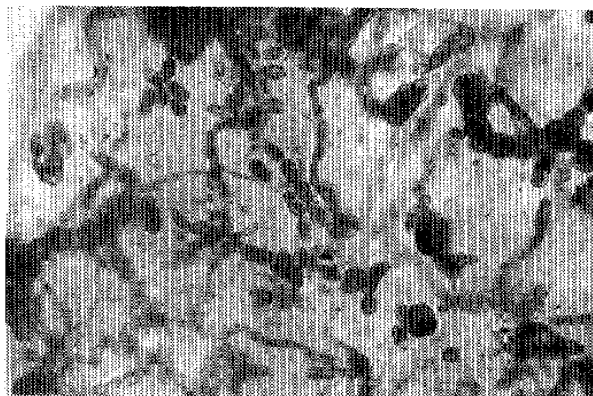


図-53 二天門東面北側の壁面に光沢が認められた (昭和54年8月)



図—54 光沢の部分には黄色やに状の析出物が存在した



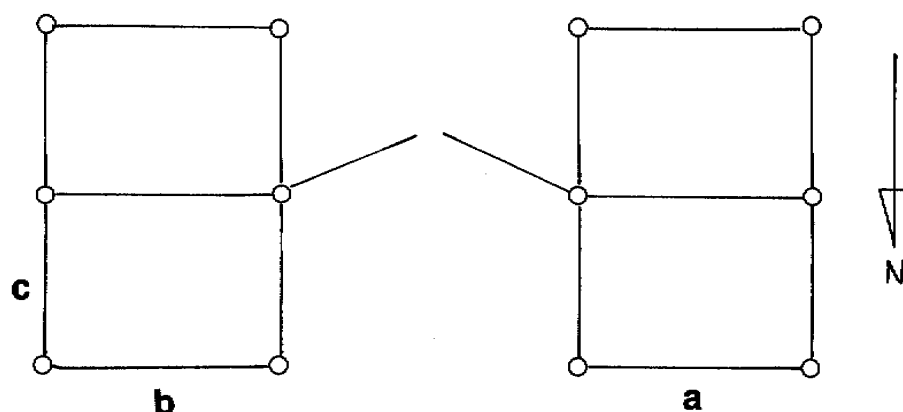
図—55 やに状析出物中で増殖するクラドスポリウム菌

的にも追求する必要が生じた。

このカビを分離すると、*Cladosporium* sp.であった。

### 5. 3 漆塗膜の微生物学的調査

日光社寺文化財保存会は、二天門の漆塗装の黒変を調査するために、二天門の腰貫で各種漆の試験塗りを昭和53年から独自に実施してきた。その詳細を下記に報告し、それぞれの腰貫の位置を図—56に示した。



図—56 漆の試験塗装をした二天門の腰貫

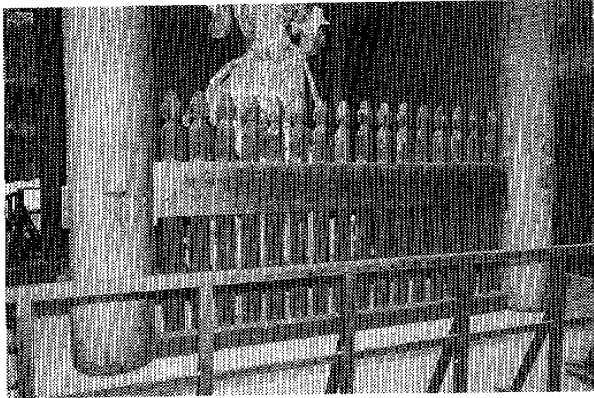
- a : 北面西側腰貫 昭和53年11月漆塗装
- b : 北面東側腰貫 昭和54年7月漆塗装
- c : 東面北側腰貫 昭和55年7月漆塗装

#### (a) 昭和53年11月の漆塗膜

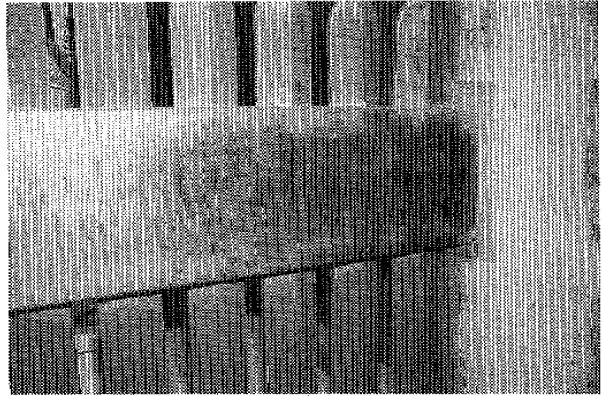
二天門の北面西側腰貫のケヤキ材で、溜塗装を実施した。溜塗りとは、弁柄塗りの上に油を混入した透漆を上塗りしたものを言う（図—57、58）。

この漆塗膜は、塗装後28か月を経過している。その表面には、カビの斑点が繁殖して菌糸が密となり盛り上っているのが観察され、既にその集落は黒色に近い色調を呈していた（図—59）。この斑点を実態顕微鏡で16倍（図—60）に、黒色部分を光学顕微鏡で400倍（図—61）に拡大して観察した。カビの菌糸が認められる。

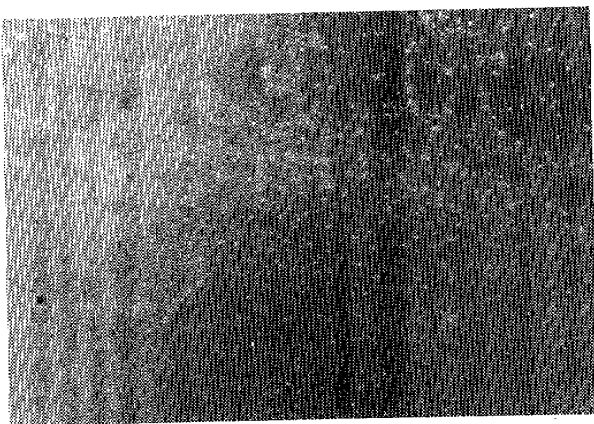




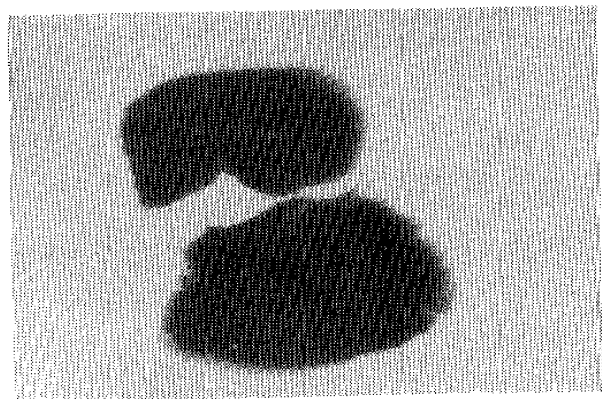
図一57 28か月経過した溜漆塗膜（腰貫）



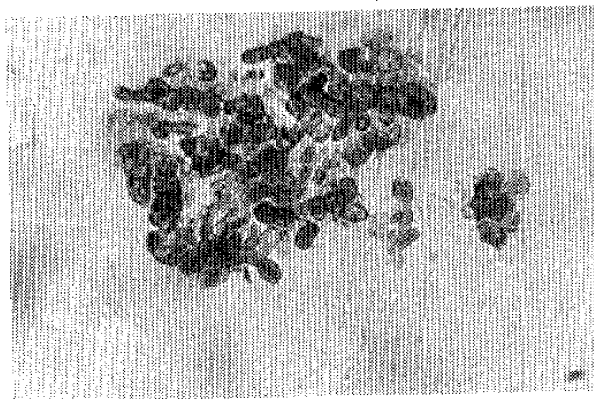
図一58 28か月経過した溜漆塗膜



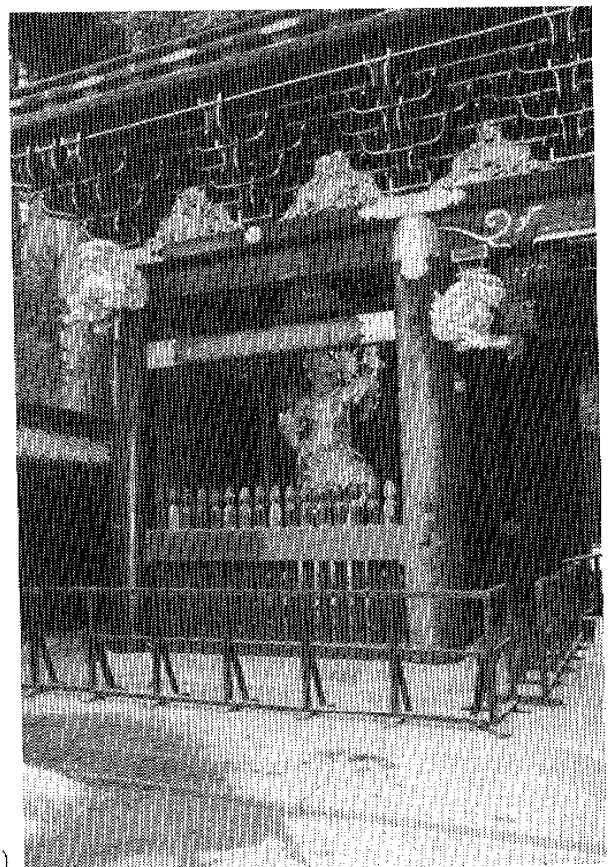
図一59 28か月経過した溜漆塗膜の黒色斑点



図一60 28か月経過した溜漆塗膜の斑点 ×16



図一61 同前斑点の光学顕微鏡写真 ×400



図一62 20か月経過した木地呂漆塗膜（腰貫）

## (b) 昭和54年7月の漆塗膜

二天門の北面東側腰貫ケヤキ材で、木地呂漆塗装を実施した。木地呂漆とは、油を混入しない漆のことを言う。塗装は、中塗り後に木地呂漆塗装を行って、3ヶ月間紙で養生した。腰貫に向って左側が2回塗りで、右側が1回塗りである(図-62, 63)。

この漆塗膜は、塗装後20か月を経過している。その表面で集落を形成しているカビの菌糸は、前者より粗で、色調もやや淡色であった(図-64)。この集落を16倍に拡大した実態顕微鏡写真と黒色部分を400倍に拡大した光学顕微鏡写真を図-65, 66に示した。

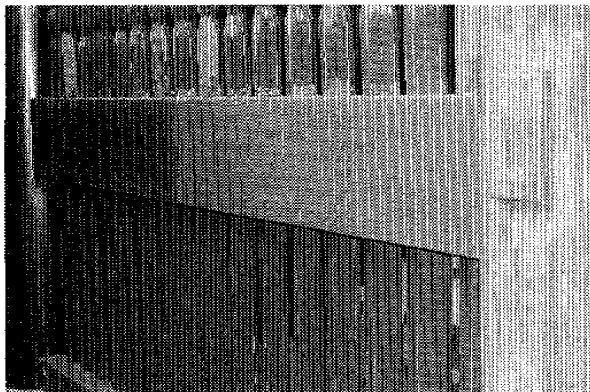


図-63 同前, 左: 2回塗り, 右: 1回塗り

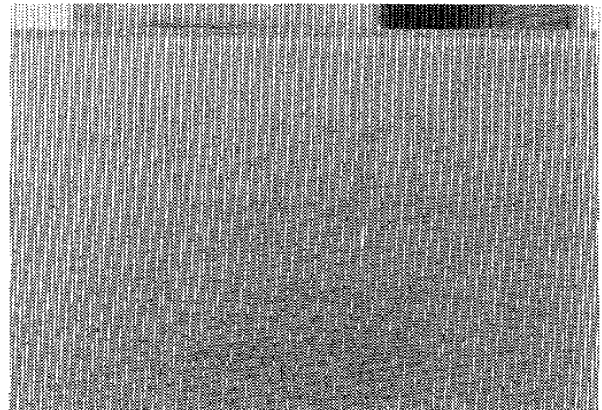


図-64 同前の斑点 (左: 2回塗り表面)

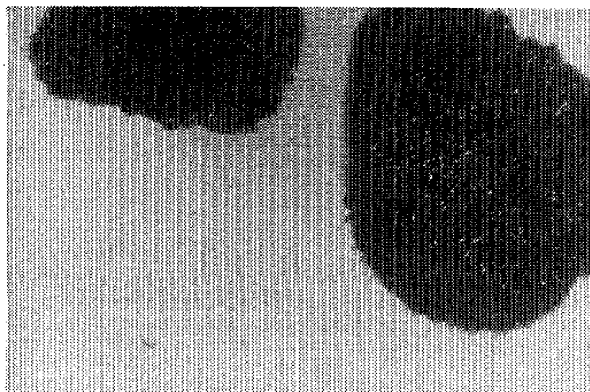


図-65 同前, 斑点の拡大 ×16

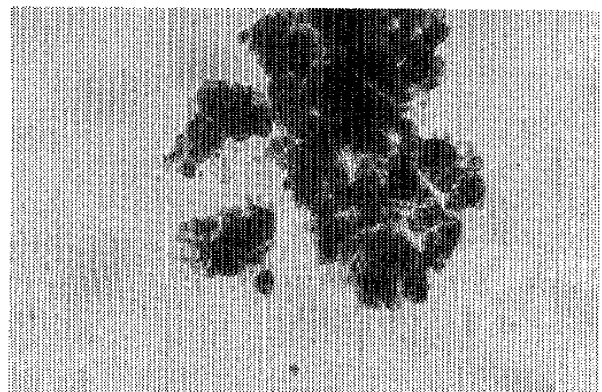


図-66 同前の光学顕微鏡写真 ×400

## (c) 昭和55年7月の漆塗装

二天門の東面北側腰貫のケヤキ材で、弁柄入り漆塗装を実施した。弁柄入り漆とは、透漆に弁柄20%を混入した漆のことを言う。塗装は、中塗り後に弁柄20%入り漆の2回塗りである(図-67)。

この漆塗膜は、塗装後8か月を経過している。注意して観察しないと見逃すような小さい黒い斑点が、腰貫の表面に散見された(図-68)。この斑点を16倍に拡大した実態顕微鏡写真を図-69に、黒色部分を400倍に拡大した光学顕微鏡写真を図-70に示した。

## 5. 4 結果及び考察

ケヤキ材に漆塗装したとき、漆塗膜表面は塗装した漆の種類に関係なく、しかも塗装後の時間の経過に伴って、黒色の斑点が着実に拡大し濃い黒色を呈していた。

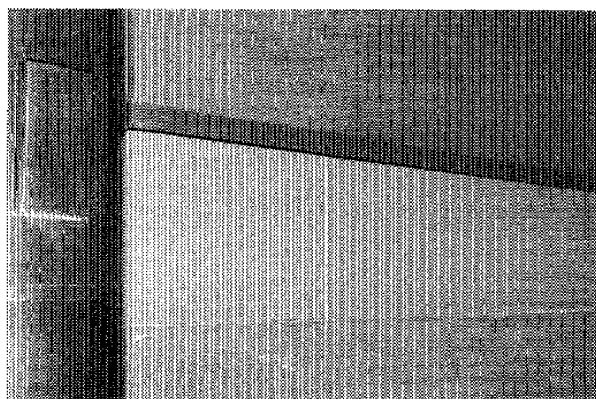


図-67 8か月経過した弁柄漆塗膜（腰貫）

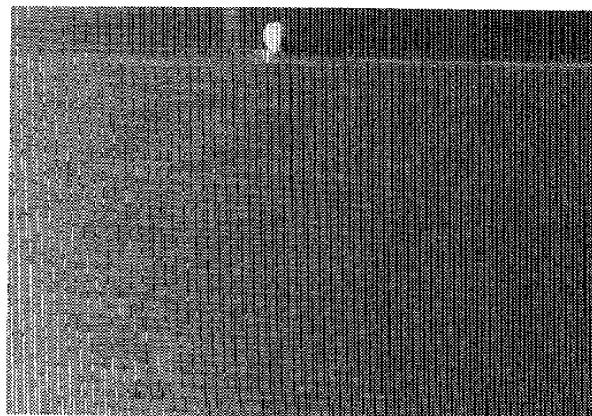


図-68 同前の表面に認められる斑点

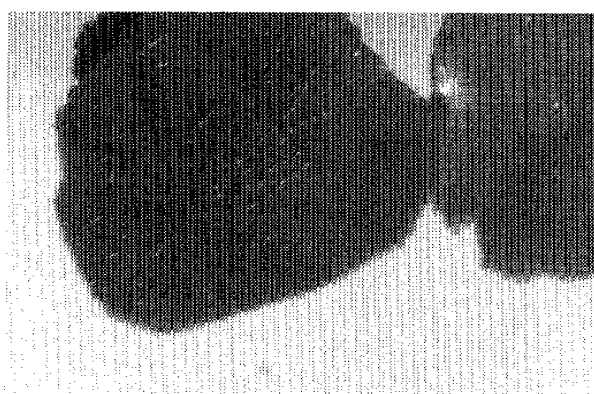


図-69 同前，斑点の拡大 ×16

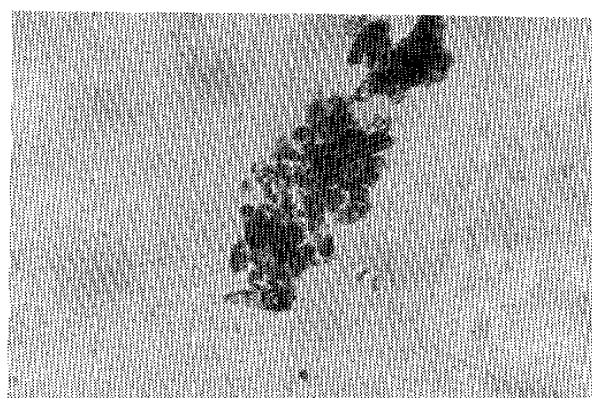


図-70 同前の光学顕微鏡写真 ×400

この黒色斑点は、*Cladosporium* sp.によって形成されていた。本菌は、我が国の大気中に浮遊するカビの約15～20%を占め、全国的に高い頻度で検出される種類である。そして、多湿な環境の壁面に繁殖して黒色斑点を形成することでも、よく知られている種類である。我が国の文化財保存科学の先駆的業績として知られる法隆寺金堂壁画保存方法調査報告書（大正9年）が、金堂壁画に発生している黒斑は *Cladosporium* sp.が主因と記載している。

一方、見城敏子氏の研究により、ケヤキ材の水溶性樹脂成分が、漆塗膜表面に滲出する現象が解明された。筆者は、大気中の *Cladosporium* spp.の分生子が、毎年漆塗膜表面に析出したケヤキの樹脂成分に付着して増殖を繰返しながら、二天門の黒化現象を形成する可能性が、極めて高いものとする。

（新井英夫）

## （6）塗漆建造物黒化現象の防止対策の検討

黒化現象の原因は素材であるケヤキの抽出物が漆塗装面に上昇し、表面で樹脂化していることが判明した。

そこで、ヤニ止めをするためには昔から使用されているカゼイン、柿シブ、大豆汁、他に雌黄について実験をした。

ヤニ止めをしてから漆を塗り、硬化後、接着試験で剥離状態を観察すると、柿渋下地は下地

表面と漆塗面の間で剥がれる。カゼイン下地は木地のところで剥がれた。また、接着試験の結果、柿渋とカゼイン下地の接着力を比較すると、カゼイン下地は柿渋の約3倍も強いことがわかった。

また、ケヤキ、ヒノキ、杉各手板のカゼイン下地の接着力はケヤキ＞ヒノキ＞杉の順である。

この結果、ケヤキのヤニ止めにはカゼイン下地が有効なように思われる。但し、現地は高湿度の環境のために、カゼインが完全に硬化することが難しい。そのために、速く硬化させる方法として、紫外線硬化方法を研究している。

(見城敏子)

## (7) 黒漆の耐候性

### 7. 1 はじめに

この試験の目的は、各種のカーボンを入れた黒漆の耐候性を曝露試験によって調査しようとしたものである。

漆が金属特に鉄によって黒色に成ることは良く知られた事実だが、漆が黒色になる現象は、漆が鉄に染まるのか、あるいは化学変化をおこしているのか、つまり鉄と漆がどの様に結びつくのかは、はっきり判らないらしく、沢口悟一は「化合着色」という言葉を用いて表現している。

一方これが比較的短時間に退色することも一般的な事実で、江戸時代の工芸品等に黒漆が透けて下地が見えるものがまゝある。普通漆芸家は黒く見える漆も黒漆が透けた漆も黒漆として区別していないが、施工の上から見てみると、古代の黒漆は黒く見える透漆であり、近世以後の黒漆は鉄で染めたいわゆる黒漆であり、時代によって黒漆の性質には大きな違いがあることは留意すべきである。

例えば正倉院文書には

高座二箇各高二尺八寸方四尺二寸以金銀絵

用漆九升二合 掃墨一升六合

とある。その施工はつまり灰墨の入った黒漆を下塗りとし、その上に透漆を塗重ねるものと解釈されている。この技法を用いた古代の実例をまだ確かめていないが、透漆を上塗に使用したことは多くの遺例がある。この塗方が奈良平安時代の漆器に深い味わいを与えている。

江戸時代ではどのような塗方を行っていたかを文献によって探ると、例えば『万金産業袋』「巻之三、塗師一通」に「とのことせしめを合せ、よくさびを付る。それを右の石にてよくとぎ、うゑに墨一へん引き（下略）」とあって、次に「さて上色らう色うるしをかけ」と続き、呂色漆塗の前に墨で着色していることがわかる。又『古今漆工通覧』（高木如水著）でも「錆の仕用」の項で、「花塗りは錆の上を硯墨にて一度塗り（中略）然る後花漆にて塗って」とのべている。

18世紀でも一般的な産地の漆器は、カーボン入りの漆とまではいかないまでも、最下層を墨塗りとして、上塗りが透けてもさびが見えない様な工夫をしていたことがわかる。つまり鉄で染めた黒漆が退色することを承知の上で、墨を防衛手段としていた。実際には、漆塗層の中間に墨を塗ることは、そこが剝離剤の様な作用をして、必ずしも良策とはいえない。

近代では墨を塗ることを改良して渋とカーボン（松煙又油煙）を混じて塗る方法、又生漆とカーボンを混和する方法が行われている。（実際にはこれらの方法は以前から行われていたと思

われるが)。

この実験では、このような目的のための下塗が、どの程度の効果をもたらすかを、多種のカーボン入黒漆を用意して耐候性を調べた。

試験期間は昭和54年7月28日より61年9月10日までの約7ヶ年で、当研究所屋上において曝露試験によって行った。

## 7. 2 試 料

- 1 紀州松煙0.25g+漆3g
- 2 紀州松煙1g+漆3g
- 3 銅粉0.5g+漆1g
- 4 鉛粉2g+漆2g
- 5 おはぐろ3g+漆2g
- 6 アイボリーブラック0.5g+漆3g<sup>#</sup>
- 7 アイボリーブラック2g+漆3g
- 8 水干0.5g+漆3g<sup>#</sup>
- 9 水干2g+漆3g
- 10 天然純黒0.5g+漆3g<sup>#</sup>
- 11 天然純黒2g+漆3g
- 12 岩手県産漆 (呂色漆)
- 13 大五町産漆 (呂色漆)
- 14 市販呂色漆 A
- 15 市販呂色漆 B

以上の内③、⑤、⑪、⑫の4枚が途中で紛失したため結果が得られていない。

## 7. 3 曝露試験後の劣化状態と考察

	曝露前の状態	曝露後の状態
1	ほぼ純黒、塗面少し光沢あり	黒ビロード状の純黒
2	〃	1より少し黒味薄い
4	純黒にならず、黒褐色、木目が透ける	塗膜はほとんど消滅
6	ほぼ純黒、塗面少し光沢	板表面を黒く染める程度に消滅
7	〃	光沢はなく、カーボンを蒔いた様な状態
8	〃 塗面光沢あり	光沢なく、白っぽい黒色、塗膜の厚味はある
9	混合量が多すぎ刷毛目あり塗面光沢少。	光沢なく、銀黒色。塗膜の厚味はある。
10	少し褐色になる	光沢なく茶褐色
13	ほぼ純黒、塗面光沢あり。	板表面に一部黒く染める程度に消滅
14	〃	褐色に近く、板表面の一部を染める程度
15	〃	〃



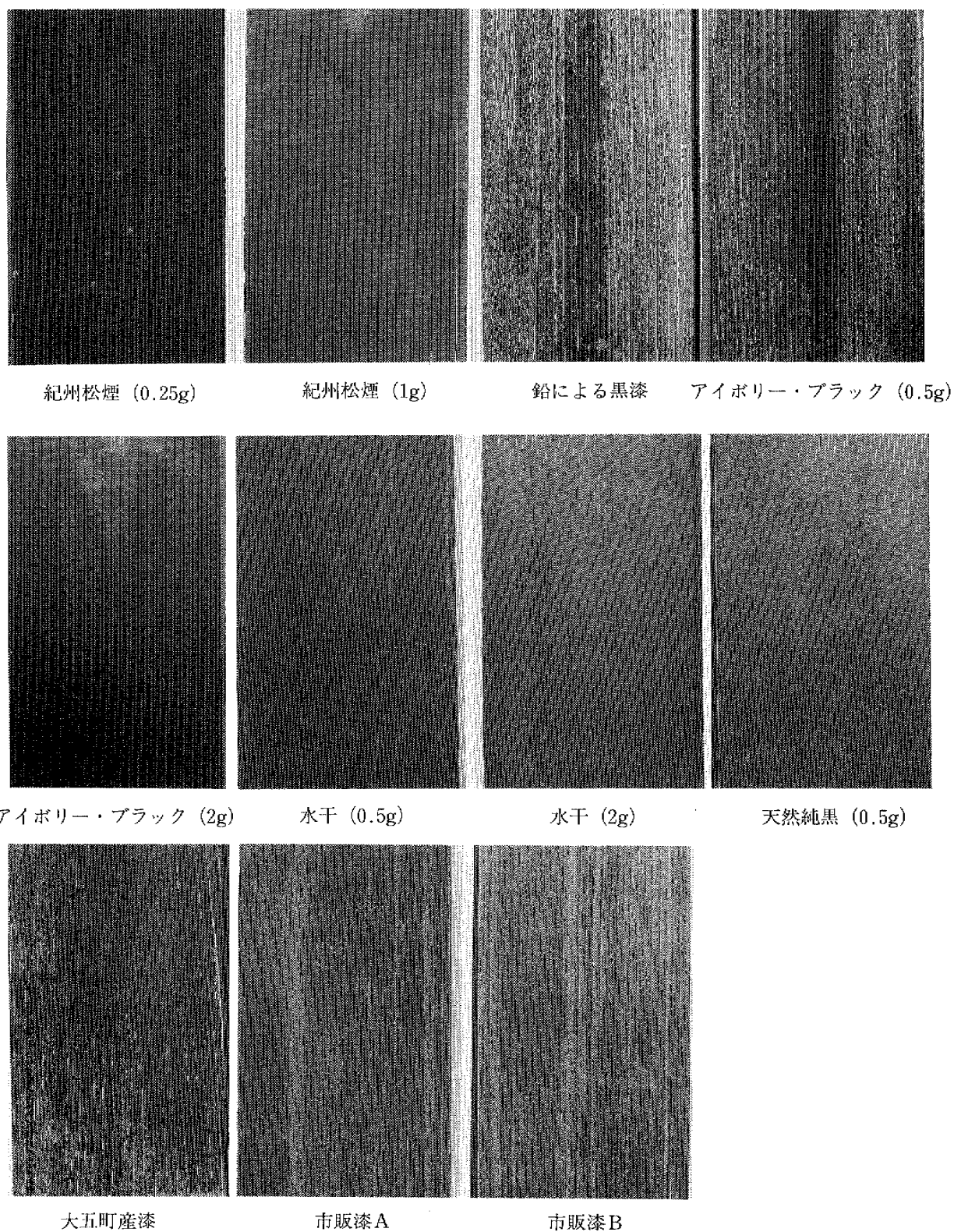


図-71 黒漆の劣化現状 (7年後)

試料 No 1, 2 の紀州松煙と試料 No 6, 7 のアイボリー・ブラックの場合は、カーボンの量の多い方が塗膜の劣化が少ない様に見え、それらは黒色がむしろ薄い。劣化が進むと塗膜表面にカーボンが露出して、時付けた様になり、黒色は濃くなる。

水干は銀ねず色になる傾向があり、量が多いほど白味が増す。たゞ塗膜としては消耗が少ないと見てよい。天然純黒はまこもを蒔いた様に褐色になっており、黒色はまったく失われている。

金属で染めた黒漆は、各テスト・ピースが塗膜をほとんど消滅しており、やはりこれらの黒漆だけで塗膜を永年保持することは不可能である。たゞ市販の黒漆よりも大五町産漆の方が塗膜の残存率が高く、良質の漆はより劣化に強いことを立証している。

## 7. 4 お わ り に

この試験は、テスト・ピースの内に一般的な材料である油煙を加えなかったり、曝露中にテスト・ピースを紛失したりの不手際があつて、十分な成果が上がらなかったが、いわゆる黒漆よりも、カーボンを混入した黒漆がより塗膜の強化に役立つことがわかったことで、一応の目的は達せられたと考えている。

黒色の材料としては、松煙、アイボリー・ブラックが好結果を示しており、水干又天然純黒は添加剤としては不適当と思われる。

注：アイボリー・ブラックの原料は、象牙を黒焼きとしたもの、水干はアニリン酸又酸化鉬物、天然純黒は原料は秘密で、今は販売されていない（喜屋で購入）。

（中里 壽克）

## (8) ウレタン添加漆及ウレタン変性漆の耐候性

### 8. 1 は じ め に

漆はもともと紫外線に劣弱であることは衆知の事であるが、日本では特殊な建造物の外装として古くから使用されて来た。そこでは当然、常に耐候性が問われ、多くの矛盾を孕みながら伝統的施工が伝えられて来た。

漆の耐候性を高めたいという願望は文化財関係では根強く存在し、これらに直接関係する人々の間では塗漆膜をいかに良好に持続させるかが大きな関心事になっている。

ここで耐候試験を行ったウレタン強化漆は寿化工 KK (岩橋史郎社長) 調整のものをサンプルとして提供を受けたものである。

二種の強化漆は檜手板に塗り、屋外曝露試験（当研究所屋上）と、サンシャイン型ウェザルメーターによる試験の二つを並行して行った。

曝露試験は昭和50年7月28日より昭和52年8月25日までの約2年間、ウェザルメーター試験は約9年分である。

### 8. 2 試 料

試料は2種用意した。

#### I. ウレタンポリオール添加漆（添加漆と略称）

任意の漆に PSNY-10 を添加して使用するもので、添加量は制限はない。30% が適量とされる。ここでは10%、30%、50% をそれぞれ添加したものを試料とした。漆は市販の呂色漆（日本産）を用いた。

## II. ウレタン変性漆（変性漆と略称）

基材となる漆を予め化学的に変性させてあり、そのまゝでは硬化しない。使用時に硬化剤を入れて用いる。普通の漆に比し、化学的に加工した人口漆と云えるものである。原料漆は黒中塗漆である。塗料として用いる場合は、この変性された漆と硬化剤を1:1の比率で混和する。

### 8. 3 強化漆の特性

両者は塗膜に非常に光沢があり、漆塗膜特有の落着いた潤沢な感じが失われ、カシュー塗料などの質感に近い。又施工性も良いとはいえず、施工時間は短く、粘度が高く刷毛目が立ちやすい。

### 8. 4 テストピース製作

テストピースは、いずれも漆と強化漆が対比出来る様に上半分に漆（市販呂色漆）を、下半分に強化漆を塗り、いずれも3回塗りとした。

テストピースの種類は、いくつかのバリエーションを考え、塗装上現実性の認められる9種類の組合せを考えた。基本的な塗り方は次の様なものである。

- a) PSNY-10の割合を変えて添加し、3回塗。
- b) 上塗のみに添加漆を塗る。
- c) 変性漆のみ3回塗。
- d) 上塗のみ変性漆を塗る。
- e) 変性漆を中塗りとし、上塗りに漆を塗る。

### 8. 5 耐候試験の結果

#### I. 曝露試験

2年行った。結果は次の通りである。

- i) 添加漆試料(A,B,C)は、PSNY-10の添加量による変化はまだ見られない。膜光沢減少。
- ii) 変性漆試料(AA,BB,CC)は試料CCに若干の下地露出部分が出たが、他の二者は透漆状となる。光沢は減少。
- iii) 試料E, AAAはまだ若干の光沢を残す。かなり透漆状となるが膜は健全。
- iv) 試料EEは若干の下地の露出が見られる。透漆状に退色。
- v) 試料AAAは上塗りの漆はほとんど消滅してその効力はなく、下中塗の変性漆は退色するも健全。
- vi) 対比させた漆は半数以上漆下地を露出。

#### II. ウェザルメーター試験

約9年分の照射を行ったが、屋上曝露試験よりははっきりとした結果が出た。

各テストピースの経時変化を図-72に示し、その観察結果を表-1にまとめた。各テストピースの劣化の形跡を追うと下記の様になる。



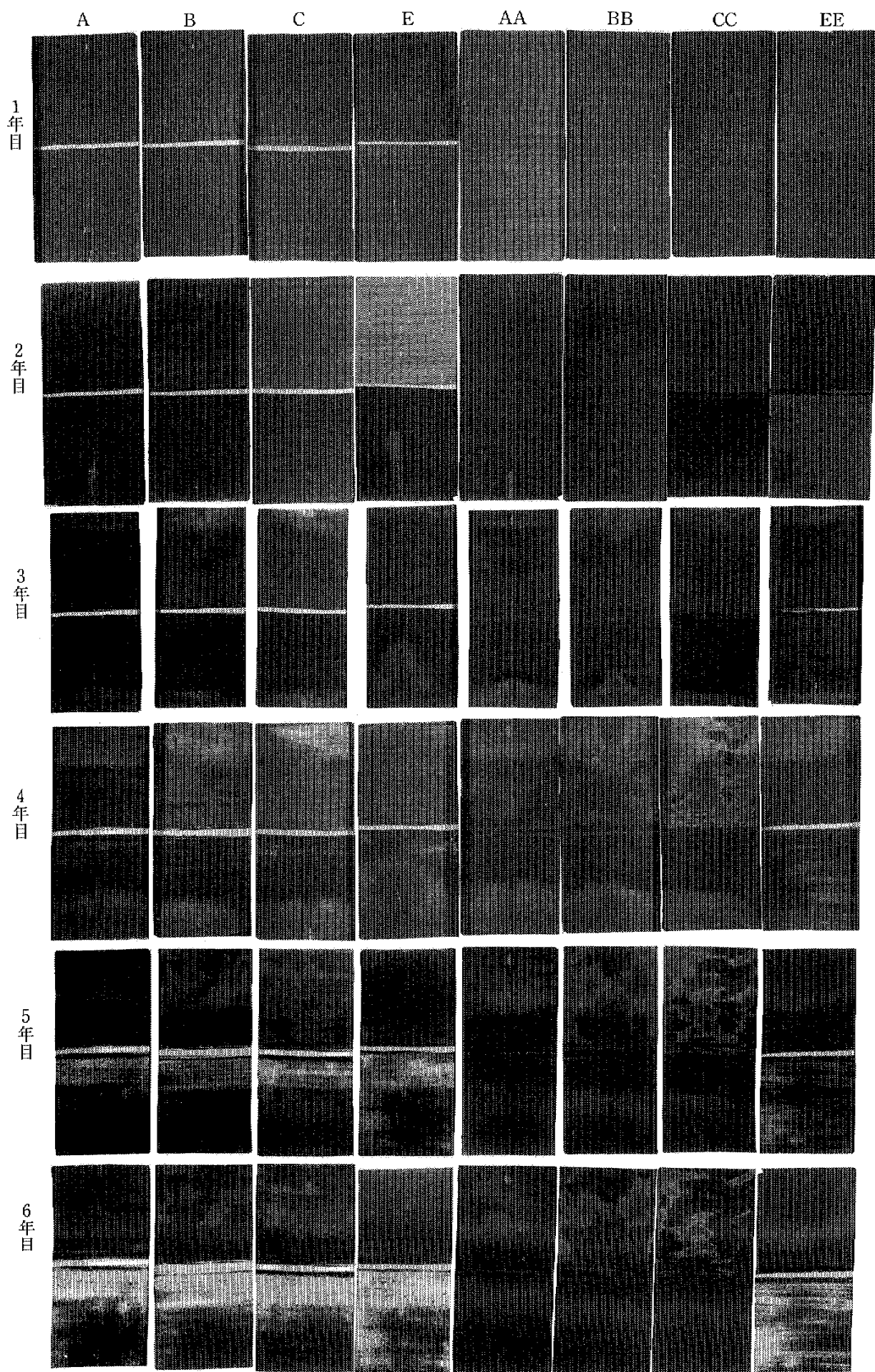


図-72 ウレタン添加漆及びウレタン変性漆のウェザルメーターによる経時変化



## A) 添加漆 (10%)

4年目に入って全体が褐色に変色しはじめるが細部の変化はない。6年目に入って地下の一部が露出。7年目では縞状の変色が生じ、9年目にはその面積は広がる。

## B) 添加漆 (30%)

2年目に褐色に変化する。4年目にその色はココア色と褐色の斑となり、9年目に下地の一部露出。

## C) 添加漆 (50%)

2年目に全体が淡褐色に変色。4年目には上塗りの一部が消滅して、そこに中塗が雲状に現われる。6年目では淡褐色に変化した上塗が中塗上に一部残存する。9年目に入り淡褐に変色した中塗が消滅し始め、黒褐色の下塗りが斑点状に露出する。

## E) 変性漆 3回塗

2年目に全体にココア色となり、3年目には黒褐色に更に変色する。7年目以後に色が少し変化するが斑とはならない。

## AA) 10%添加漆上塗

全体に灰褐色に変色後、4年目にココア色の斑文が入る。7年目にこの斑文の面積は小さくなり、9年目には黒褐色の中塗が全面に露出する。10%添加漆膜が消滅した結果である。

## BB) 30%添加漆上塗

4年目に上塗がココア色に変色し、一部斑紋となり、6年目以後斑文は少なくなっていく。9年目には露出した中塗が劣化を始める。

## CC) (50%添加漆上塗)

2年目にチョコレート色に変色、4年目変色した上塗は一部消滅し、中塗が露出し始める。以後、上塗は面積を狭め、9年目には一部のみ残存。中塗が露出し、全体を占める。

尚、対比させるために各テストピースの半分に塗った漆(市販呂色漆)は、曝露試験では2年目に、ウェザルメーター試験では5年目に下地が露出した。

## 8. 6 考 察

1) 添加漆は10%, 30%, 50%と PSNY-10の添加割合を変えたが、ウェザルメーター試験の結果では10%試料は他の二者に比すれば劣化が早かった。30%, 50%試料は9年目に下地が露出したが、劣化状態は両者間でそれほど差はないと思える。たゞし30%試料はココア色の変色が著しかった。30%試料にこのような斑点が生じるのは、上塗から中塗、下塗と塗膜が順々に変色しながら消滅してゆく過程を示していると思われる。

曝露試験では、まだ顕著な変化は見出せなかった。

2) 変性漆はウェザルメーター試験では、試料Eはココア色に変色した後、再び黒褐色に転じ、その後は比較的安定した状態を保ちながら、徐々に消滅していく。

変性漆を上塗りしたものは、上塗が5年目頃に消滅後、漆膜が露出して急速に劣化していく。上塗の効果はほとんどないと考えられた。

3) 添加漆、変性漆とも塗料の上に上塗したものは、これらの強化漆がさほど耐候性を持たないことがわかった以上、理論的にも上塗の意味はあまりないことは当然である。

現状では10%添加漆上塗りの試料(AA)が好結果を示しているが、試料(A)と比較しても、この試料の信憑性は薄い。

4. 添加漆と変性漆の塗料としての特徴は、ウェザルメーター試験の結果、多少の相違が見出された。

すなわち添加漆は表面の塗膜が順次変色しながら消滅する傾向にある。たゞこの変色はかなり劇的であり、塗料としてはマイナス面が大きい。他方、変性漆は、やはり表面から徐々に変色して行くが、塗膜全体が褐色に変色するのみで、添加漆の様な極端な変化は見られず、塗膜としては無難である。

## 8. 7 お わ り に

屋外曝露試験については、結果を明確に出さないまま、2年で停止させたため、ウェザルメーター試験と比較出来なかったのは惜しまれるが、ウレタン樹脂による強化漆の、強化の内容はある程度計ることが出来た。

強化漆と漆を塗料として比較すると、前者は約2倍の耐候性を有することがわかった。

たゞ先述の様に添加漆については変色の問題が大きく、屋外塗料として用いるとすれば変性漆の方が秀れている。(強化漆の劣化の過程は、手板を各1枚によって判定しており平均的結果は期待出来ない)

漆の塗料としての魅力は、その潤いにあるのだが、合成樹脂塗料は、その点で大きな負荷を与えられている。ウレタン強化漆も例外ではない。もしこの塗料を実際に用うるとすれば、この実験の結果で考慮すれば次の様な施工がよいと思われる。

変性漆にはカーボンを混和し、下塗、中塗に用いる。上塗には漆を用いれば、漆が劣化後、中塗以下が自然の塵等によってカバーされ、10年間ぐらひは美観を保つのではないかとの希望を持つ。

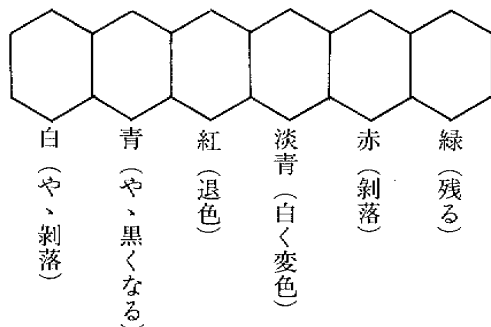
(中里 壽克)

## IV 彩色建造物の調査研究

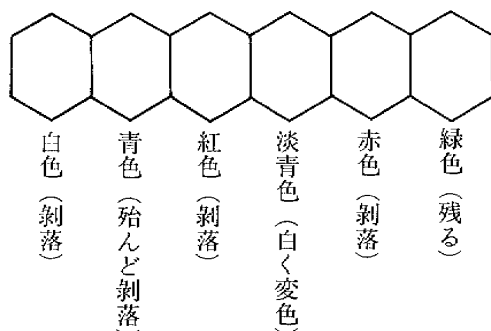
### (1) 東照宮本殿，透塀の唐油彩色の劣化状況の実態と原因調査

#### 1. 1 透塀彩色の劣化現象

東照宮本殿の透塀格狭間の上下長押に施された唐油彩色は漆箔地の上に四ツ花入り亀甲繋ぎ文を描くものである(図-73)。この唐油彩色の変退色は日光の直射を受けた部分ばかりでなく、日光の当らぬ所も退色剥落している。西側(外側)南寄りの上段は比較的よく残り、下段は退色甚だしく、亀甲の枠だけ緑が残る。四ツ花は下記のように変色、剥落が認められた。



西側(外側)北寄りの彩色は上下段とも亀甲の枠が全体に白く変色し、緑のみ淡いブルーになっている。上段の花模様は殆ど変色しないが、緑青のみ剥落している。



#### 1. 2 劣化現象究明のための試験

1) 東照宮本殿・透塀格狭間の上下長押に施された唐油彩の変退色の原因を究明するため修理工程と同一手法により、修理事務所で作成した群青、緑青、黄土、朱、辨柄の唐油彩色手板試料を昭和51年10月～54年1月に長

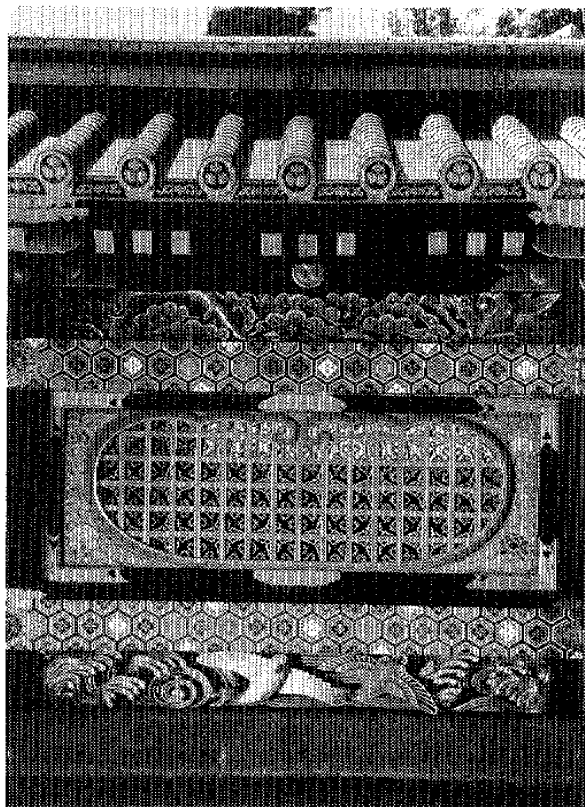


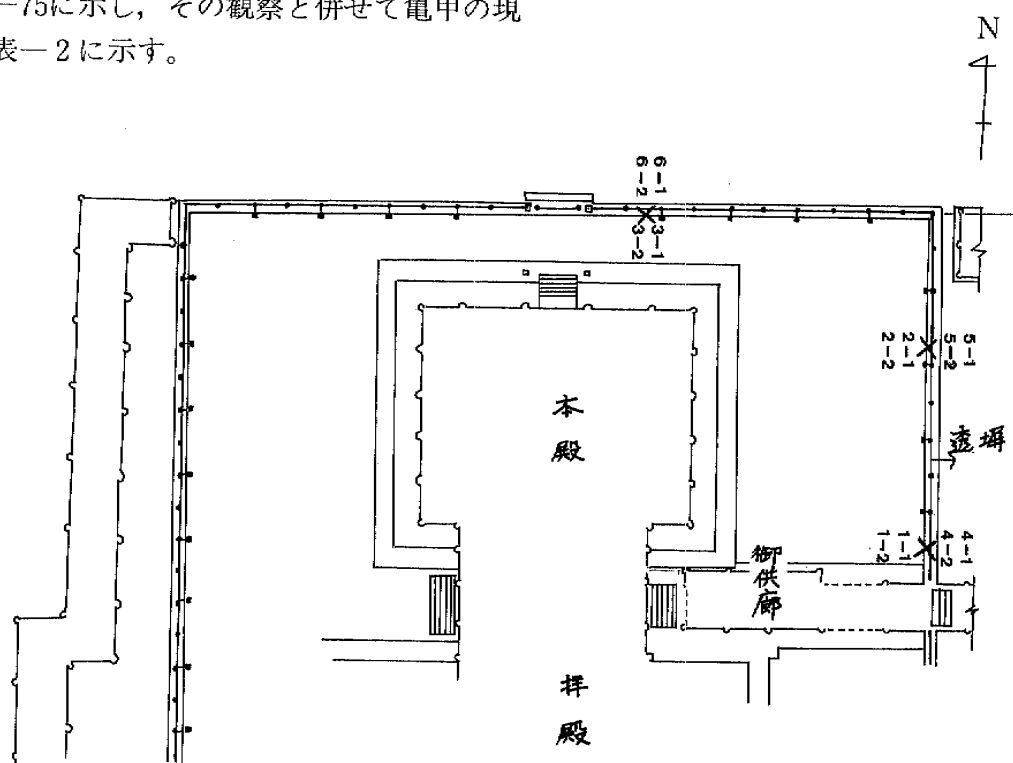
図-73 透塀格狭間の上下長押に施された唐油彩色

表-2 昭51年10月～昭54年1月間の試験顔料の変化及び亀甲の現状

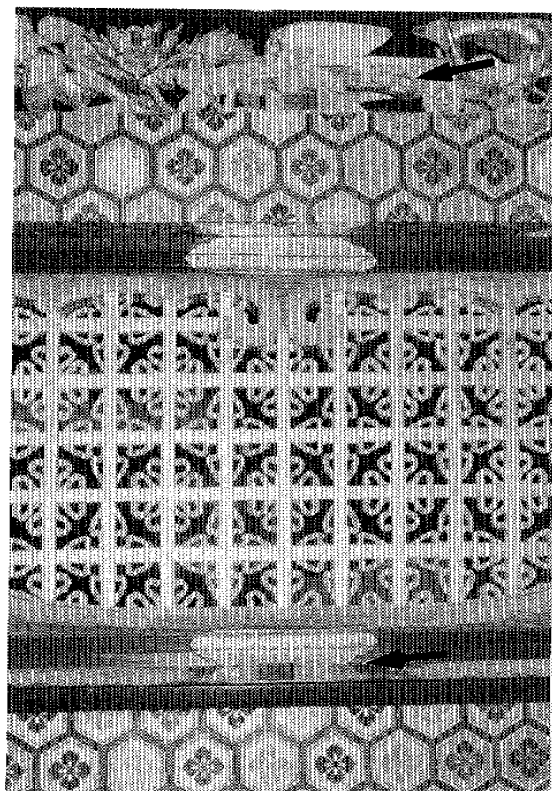
試料	試験顔料					亀甲の現状
	黄土	群青	緑青	辨柄	朱	
1-1	不	不	不	不	不	青
1-2	不	まだら	まだら	白化	不	〃
2-1	不	不	まだら	不	不	僅か青のこる
2-2	不	不	不	不	やや黒化	白
3-1	不	不	不	不	やや黒化	〃
3-2	不	不	不	不	僅か黒化	〃
4-1	不	ややまだら	不	不	不	〃
4-2	ややまだら	不	不	まだら	不	緑
5-1	不	不	不	不	不	白
5-2	不	不	不	不	不	緑に白かかる
6-1	不	不	不	不	不	緑
6-2	不	不	不	不	不	〃

不：不変

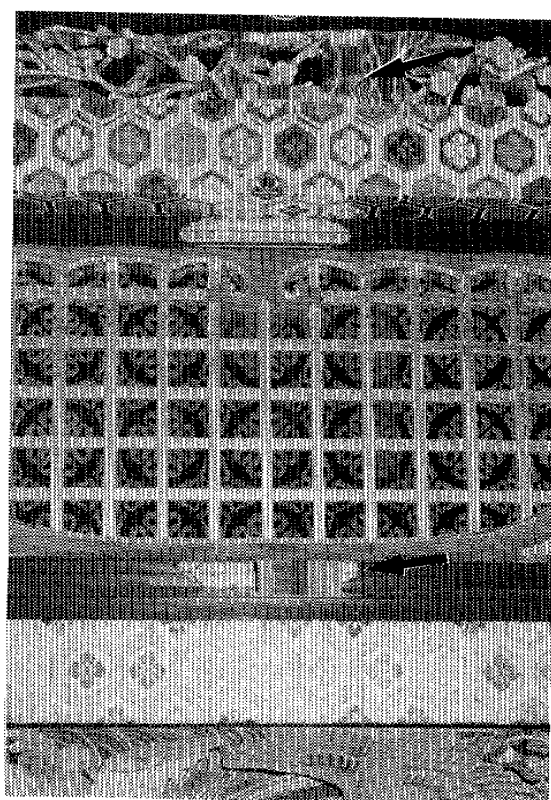
押上下に設置した位置を図一74に、その状態を図一75に示し、その観察と併せて亀甲の現状を表一2に示す。



図一74 東照宮本殿透塀に手板を設置した位置

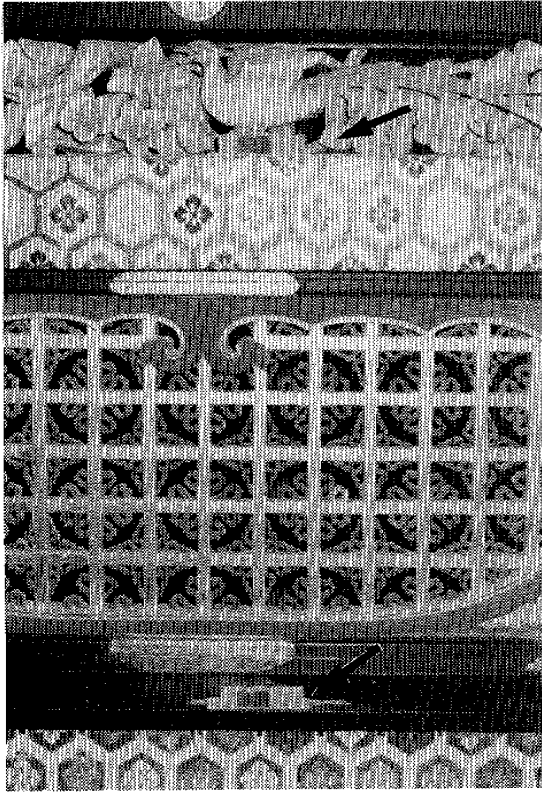


上 1-1  
下 1-2

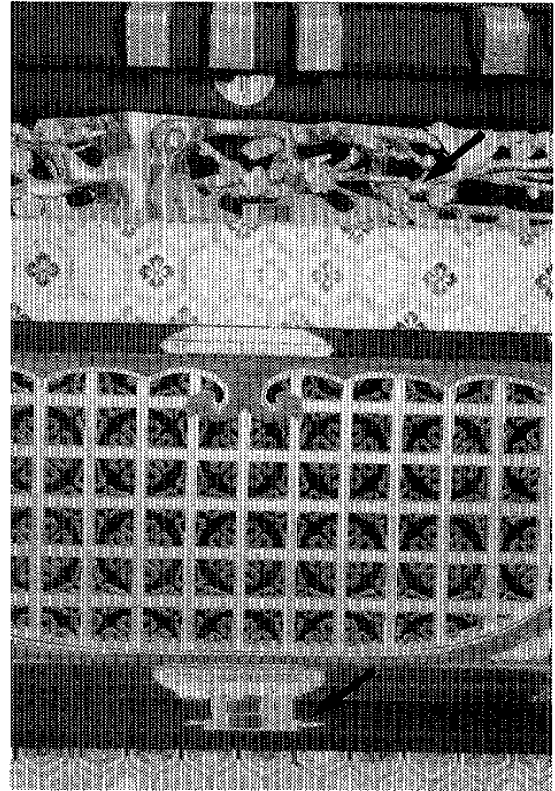


上 2-1  
下 2-2

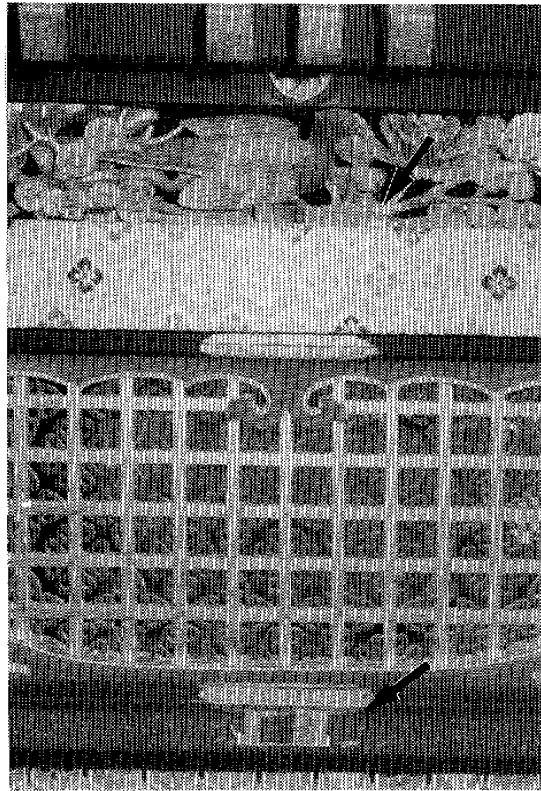




上 3-1  
下 3-2



上 4-1  
下 4-2



上 5-1  
下 5-2

図-75 上下長押・唐油彩色にテストピース設置

表一1から使用した顔料は光に対して比較的強い顔料であり、試験期間中の変色は極めて少なかった。しかし、朱がや、黒化した(2-2, 3-1, 3-2)は光の影響の大きい所、表面のまだら(1-2, 2-1, 4-1, 4-2)は湿度によるカビに対応するもので、湿度の影響の大きい所と推定される。

2) 研究室において、同一試料について下記条件下(温度25℃, 湿度33%, 75%)で劣化試験を行った。

朱, 群青, 緑青, 辨柄は紫外線の影響のために黒味を帯びる。黄土, 辨柄, 朱は相対湿度(RH)75%に放置すると白っぽくなる傾向がある。また, 緑青は変色しないが, 湿度が高い程剥落しやすい。75%RHでは殆んど剥落する。

3) 彩色面に当る光の状態を知るために、湿気に強く光に敏感なテストピースを選び、長押の上下に設置した。

テストピースは下記の3種を作成した。

(青) 1%W/V Patent Blue 50%アルコール水溶液

(黄) 1%W/V Tatraine 50%アルコール水溶液

(ピンク) 1%W/V Rhodamine B 50%アルコール水溶液

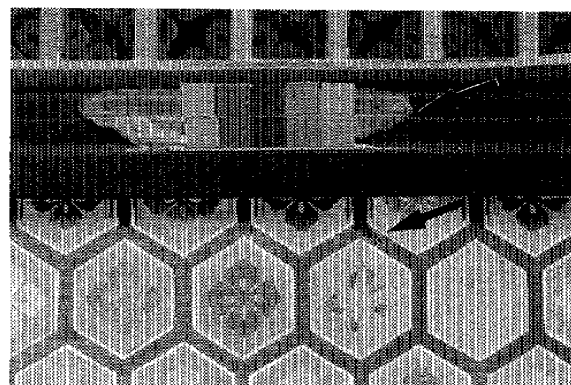
上記のおおのの染料アルコール水溶液で1cm角の濾紙を染め、乾燥してテストピースとした。

試料を各位置に1週間放置後に観察した結果を表一3に示す。

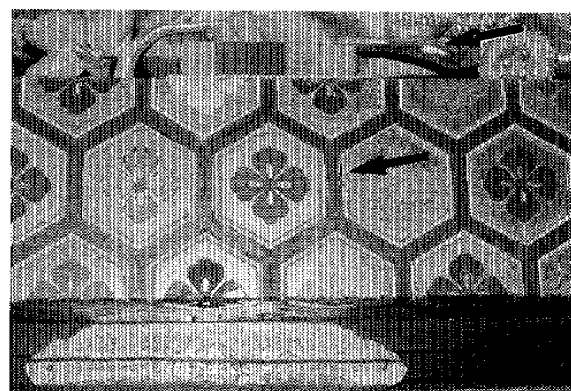
結果、表一2, 3より総合的に判断すれば、試験顔料のまだら状況から環境湿度の影響がわかり、また、朱の黒化程度と光モニターとを併せて光の影響が把握される。これらの結果から長押の亀甲の変色(図-76, A, B, C)は次のように分類される。

表一3 染料テストピースの1週間後の変色

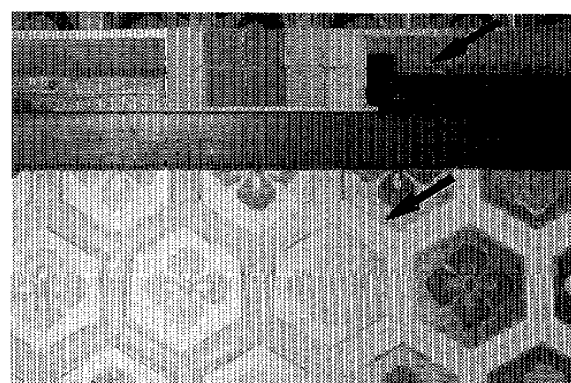
テストピース 場所	青	黄	ピンク	
a) 2-2 3-2 5-1 4-1	褪 色	褪 色	褪 色	光の影響が極めて大きい部位
b) 5-2 2-1 3-1	ほぼ 褪色	淡黄色	ほぼ 褪色	光の影響が大きい部位
c) 1-1 1-2 4-2	淡青色	明るい 黄色	ピンク	光の影響が中程度の部位
d) 6-1 6-2	不 変	不 変	不 変	光の影響がほとんどない部位



(A)



(B)



(C)

図-76 長押の亀甲文の変色(矢印)



- A. 光の影響が殆んどない場合、  
湿度が高くても変色せずに緑である。  
6-1, 6-2
- B. 光は当るが湿度の影響が小さい場合、  
緑が青色に変色する。  
1-1, 1-2, 2-1, 4-2, 5-2
- C. 光の影響を大きく受けた場合、  
緑から白に変色、または剥落する。  
2-2, 3-1, 3-2, 4-1, 5-1

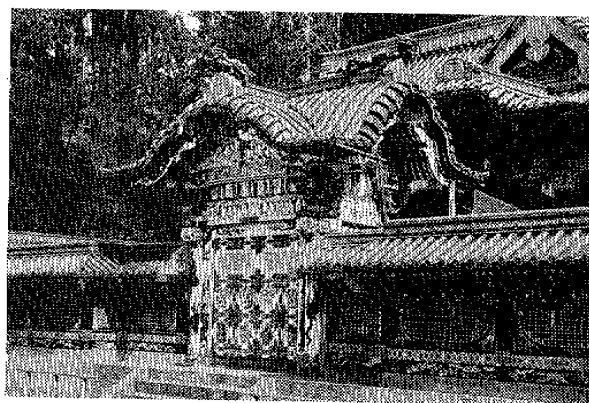


図-77 唐門全景（背景に高い木立がみえる）

いずれにしても、湿度よりも光の影響が大き  
いように考えられる。周囲の木立ちにより光が  
木の間より射す所は、光の作用が大きく、また、当らぬ所は湿度の影響が大きい（図-77、表  
-3）。一般に劣化のひどい所程、照度が高い。14時の日照の測定では最大1,500 lux に対して、  
最小は60 lux であった。

尚、6-1, 6-2の少々良好な状態は湿度が高くても、図-77に示したように透塀の背後  
の木立による光遮断効果が大きいので、光と湿度の相互作用がないためと考える。

\* 亀甲文の枠の緑色は、藍と雌黄の混合物が使用されている。

（見城敏子）

## (2) 彩色の糸状菌防除対策の検討

### 2. 1 は じ め に

我が国の文化財建造物で彩色をした建築物は、約300棟存在し、指定建造物の約1割を占めて  
いる。例えば、大崎八幡神社（宮城県仙台市）、日光東照宮・二荒山神社・輪王寺（栃木県日光  
市山内）、久能山東照宮（静岡県静岡市）、富士山本宮浅間神社（静岡県富士宮市）、日吉大社末  
社東照宮（滋賀県大津市）、東照宮（和歌山県和歌山市）、平等院鳳凰堂（京都府宇治市）、青井  
阿蘇神社（熊本県人吉市）などが挙げられる。

彩色建造物には、彩色に認められる特異的な劣化現象が存在しているが、未だ適切な対策が  
なく、劣化と修復の繰返しを余儀なくされている面がある。その1つに、修復後建築彩色表面  
に糸状菌が発生し、表面の顔料剥落や斑点を形成する現象がある。この原因と対策について、  
種々の検討をしたので、その結果を述べる。

### 2. 2 建築彩色等に着生する糸状菌の調査

#### (1) 日光二社一寺の建築彩色

日光社寺文化財建造物に用いられている彩色工法は、置上げ彩色、平彩色、生彩色、唐油彩  
色（密陀絵彩色）、胡粉塗り（無地彩色）の5つの工法に分類される。このうち唐油彩色は、他  
の彩色と異なり下地の上に桐油と荏油に顔料を混合して筆で画く独特の彩色方法である。その  
他の工程は、顔料を膠水に混合して画く彩色方法である。それぞれの彩色工法の詳細は、修理  
報告書<sup>(1)</sup>にゆずり、彩色に用いられている原材料を判断する資料として、平彩色工法の工程と材  
料及び作業内容を表-4に示した。

表-4 平彩色工法

工 程	材 料 お よ び 作 業 内 容
木 地 洗	旧彩色塗装を洗い落す。
埋 木	素地の欠けた部分を麦漆で埋木する。
刻 苧 彫	節や乾割れの部分を幅1 cm, 深さ0.5cm 位彫る。
木 固	素地に直接生漆を浸透させて補強する。
刻 苧 飼	刻苧彫の部分に麻布を張る。
刻 苧 揃	刻苧の肉高部分を前鉋で削除。
引 込 地	刻苧のやせた部分に切粉付けをする。
引 込 払	金鋼砥を当て、場合により地付け、同空研ぎする。
切 粉 付	表地全面に地の粉：砥の粉=1：1を漆と混合して塗布。
切 粉 空 払	へらむらなどの地肌を平にする。
下 塗 丹 具	鉛丹：胡粉=1：1を10%膠水に混合し、塗装材全面に2回塗布する。
下 塗 胡 粉	7つ番胡粉を10%膠水に混合して2回塗布する。
濃色岩絵具下	仕上げ絵具と同色の下塗絵具を10%膠に混合して1回塗布する。
仕 上 絵 具	濃色岩絵具（群青、緑青、朱など）を、10%膠水に混合して2, 3回塗り重ねる。
剥 落 防 止	剥落防止にシリコン液を吹き付ける。

## (2) 実態調査

輪王寺の経蔵は、昭和47年に修復された。彩色は、置上げ彩色が主体をなしているが、平彩色、彫刻平彩色、唐油彩色の工法も随所に用いられている。経蔵の西側は、修復直後から糸状菌の発生が著しく、平彩色の緑青、朱土の部位に黒色の糸状菌が一面に繁殖し(図-78)、彫刻平彩色で胡粉塗りの白兔が糸状菌で灰黒色のまだらになっていた(図-79)。上神庫の北側外壁小屋梁上の置上げ彩色で朱土、胡粉の部位に糸状菌が発生していた。神廐の南側外壁鴨居上の平彩色緑青部位は、かつて経蔵と同様な黒色の糸状菌が繁殖した。現在、この部位は上塗りの緑青が剥落し、周囲より淡色を呈していた(図-80)。昭和53年12月末に修復が完成した日光五重塔の平彩色には、修復中から緑青、黄土、朱土などに糸状菌が発生した。

東照宮坂下門の南に漆溜塗りの柵がある。東側は未だ艶があり表面に斑点が認められないが、西側は艶がなく表面に黒色斑点がある。この斑点は、二天門の黒色斑点とは異なるので、採集して調査した。



図-78 平彩色緑青部位に繁殖した黒糸状菌



図-79 胡粉平彩色の白兔がカビで灰黒色となる

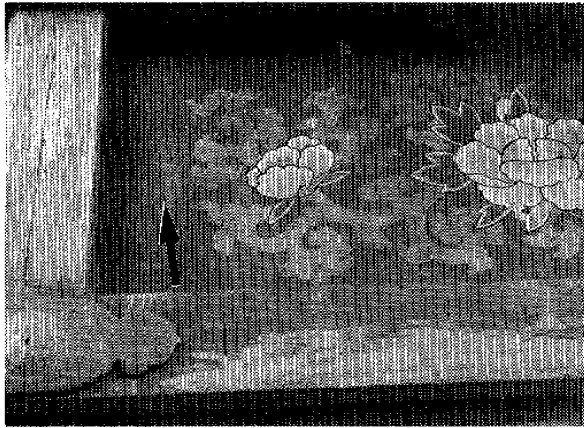


図-80 クラドスポリウム菌が繁殖した後は顔料が落下する

### (3) 糸状菌の種類

彩色に発生する糸状菌を分離すると、次の種類が認められた。すなわち、

*Cladosporium* spp.

*Aspergillus* spp.

*Penicillium* spp.

この中で、最も高い頻度で分離されるのが *Cladosporium* spp. で、例えば、経蔵の緑青に繁殖していた黒色の糸状菌、灰黒色の兎、五重塔の第三層などから分離された。彩色表面に白い菌糸の繁殖している部分からは、*Aspergillus* spp. *Penicillium* spp. が分離された。

坂下門の西側漆溜塗り柵の表面に着生した黒色斑点は、*Aureobasidium pullulans* であった。この種の糸状菌が発生するのは、坂下門が著しく多湿になり、漆溜塗り表面に液状の水滴が生じる可能性を示唆している。また、この漆溜塗り柵の東側と西側の艶の差は、日照を受ける時間の差に起因すると考えられた。

## 2. 3 彩色の糸状菌防除方法の検討

建築彩色に発生する糸状菌は、彩色に用いる顔料との間に相関性があるのではないかという疑問がある。しかし、実態調査によれば、胡粉、緑青、朱の部位に糸状菌の繁殖しているのが、しばしば見受けられた。その他、群青、黄土、朱土、金箔などにも着生しているので、顔料による特異性は見出せない。さらに、緑青と群青の成分は塩基性炭酸銅〔 $\text{CuSO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ 〕であり、朱の成分は硫化水銀（ $\text{HgS}$ ）である。これらの顔料に含まれている銅や水銀が遊離したイオン状態にあるときは、生物細胞に強い毒性を示すことが知られている。すなわち、ボルドー液や昇汞水等の殺菌剤として用いられてきた。これらの重金属を含んでいる顔料の彩色部位に糸状菌が繁殖するのは、重金属が殺菌作用を示さない安全な化合物として存在していると考えられる。従って、彩色に糸状菌の発生する原因は、顔料以外に求めるべきである。平彩色工法（表-4）から、彩色に用いられている原料を調べると、顔料と10%膠水を混合し、これを7ないし8回塗重ねている。膠は、動物性蛋白質の1種で、ゼラチンとして細菌の培養基に用いられ、糸状菌の栄養源ともなる。従って、彩色建造物の立地条件が、温暖多湿な環境であれば、糸状菌は彩色顔料の種類に関係なく膠を養分として生育し得る状況にある。

建築彩色に糸状菌の発生する原因が、上述の理由によるならば、糸状菌の予防対策は次の2つの方法を採用しなければならない。すなわち

(a) 彩色の表面に防黴剤を付着させる。

(b) 膠に防黴効力を付与する。

江本<sup>(2)</sup>は、0.5% dehydroacetic acid のアルコール溶液の吹き付けで、防黴効力を示したと報告している。筆者は、低毒性薬剤のなかから、①材質特に膠や顔料に影響がなく、②防黴効力が優れ、③残効性が2～3年期待できる薬剤を検索することにした。

### (1) 彩色の表面処理薬剤

日光山内の年間温湿度観測記録によれば、気温は6月が16～17℃、8月が21～23℃、10月が11～15℃で、湿度は5月が65～70%RH、6～7月が76～80%RH、8～10月が80～85%RH、11月が75～80%RH、12～1月が67～73%RH、2～4月が60～66%RHであった。梅雨期には、

彩色表面に結露を生じ、水滴が表面を流れているのが観察される。このように多湿な環境で、防黴剤の残効性を期待するには、水に難溶な薬剤を選択する必要がある。筆者は、彩色表面に吹き付け処理する薬剤として、Thiabendazol (TBZ と略記する), Thymol, o-Phenylphenol (OPP と略記する) の3種の薬剤について、防黴に有効な濃度と材質への影響を検討した。

#### (i) 防黴有効濃度

実験は、直径8mmのペーパーディスクに、各種濃度に調整した薬剤溶液を0.05ml/cm<sup>2</sup>滴下して風乾し、馬鈴しょ平板寒天培地上に各濃度の3個のペーパーディスクを置いて実施した。これに *Aspergillus niger* IAM 3001の分生子けん濁液 (10<sup>5</sup>/ml) の0.5mlを接種して25℃で培養した。7, 15, 30日目に観察し、供試菌がペーパーディスク上に生育しない濃度を防黴有効濃度とした。薬剤の濃度は、TBZ のとき0.001, 0.01, 0.1, 0.5%, Thymol のとき1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 10.0%, OPP のとき0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0%のエチルアルコール溶液を調製して実験した。

その結果、TBZ は0.1%溶液以上で防黴効果を示し、0.5%溶液は供試菌の生育を阻止してしかもその効果が持続した。Thymol は1.0~2.0%溶液では防黴効果を示さず、3.0%溶液以上が必要である。明らかな阻止効果は5.0%溶液で、0.05ml/cm<sup>2</sup>以上の処理が必要であった。OPP は0.75%溶液以上で処理したとき防黴効果を示したが、効力は持続しなかった。

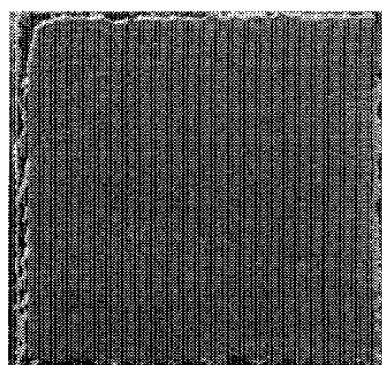
#### (ii) 平彩色試料による防黴有効濃度

実験は、ヒノキ材 (2.5×2.5×1.5cm) に緑青と黄土の平彩色を施した試料表面に、供試薬剤の溶液を0.016ml/cm<sup>2</sup>の割合で吹き付けて乾燥し、各試料を馬鈴しょ平板寒天培地上に置いて実施した。これに、*Aspergillus niger* IAM 3001, *Penicillium citrinum* IAM 7316, *Cladosporium herbarum* IAM 5059, *Trichoderma viride* IAM 5061の4種の糸状菌分生子の混合液0.5mlを散布して、25℃で培養した。観察は、7, 15, 30日目に試料表面に糸状菌の生育した面積を5段階 (生育しないものを一, 対象を+++とした) で表示して防黴有効濃度を示した。薬剤の濃度は、TBZ を0.1と0.5%, Thymol を2.0%, OPP を0.5%のエチルアルコール溶液で実験した。

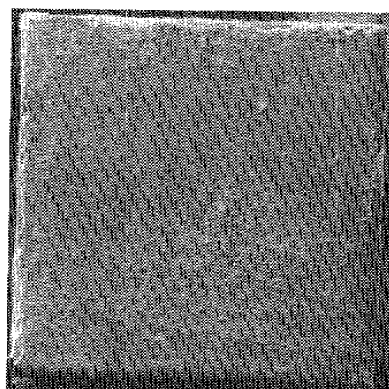
その結果は、表一5と黄土の平彩色試料表面の糸状菌の繁殖状態を図一81に示した。これよ

表一5 平彩色試料による防黴効果試験

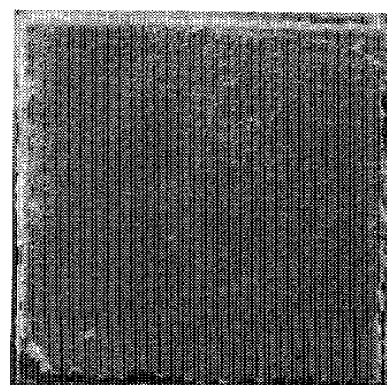
試 料	薬 剤 Conc.	TBZ		Thymol	OPP	対 照
		0.1%	0.5%	2.0%	0.5%	
黄 土	青	±	—	+++	+++	+++
緑 青		—	—	+	+	+



TBZ 0.5%液処理



チモール 2.0%液処理



OPP 0.5%液処理

図一81 黄土の平彩色試料による防黴効力試験

り、TBZ 0.1または0.5%エチルアルコール溶液を0.016ml/cm<sup>2</sup>の割合で彩色表面に吹き付けられ、防黴効果を示すことが判明した。この結果に基づいて、自然環境下にある建造物の彩色表面処理を実施するときは、作業中の損失や薬剤が析出して風雨による損失を念頭に置いて、TBZ 0.5%エチルアルコール溶液を50~160ml/m<sup>2</sup>の割合での吹き付けが必要である。

(iii) 薬剤の材質への影響

防黴剤 TBZ, Thymol, OPP の材質への影響は、漆下地、彩色下地を施したヒノキ材に、群青、緑青、黄土、朱、弁柄で彩色した手板で実験した。TBZは0.5%、Thymolは5.0%、OPPは1.0%のエチルアルコール溶液を50ml/m<sup>2</sup>の割合で彩色手板に吹き付けた。この手板は、75% RH のデシケーター中に納め、20℃に6ヵ月間保って顔料への影響を調べた。各顔料の主波長で純度と明度を測定しておき、薬剤処理して一定条件に保った後、再び主波長で各顔料の手板の純度と明度を測定し、その間の増減から CIE（国際照明委員会の略）の色度表を作成して表一6に示した。

表一6 顔料の防黴剤による CIE 色度表\*

顔 料	防 黴 剤	主 波 長		純 度		明 度	
		処 理 前	処 理 後	処 理 前	処 理 後	処 理 前	処 理 後
緑 青	TBZ	mμ 500	mμ 498	% 16.0	% 20.0	9.2	9.0
	Thymol	"	"	"	"	"	"
	OPP	"	"	"	21.0	"	"
朱	TBZ	626	626	63.0	56.5	19.3	17.5
	Thymol	"	"	"	60.0	"	15.0
	OPP	"	"	62.0	"	"	"
弁 柄	TBZ	611	611	57.0	45.0	13.0	13.0
	Thymol	"	"	"	52.0	"	14.9
	OPP	"	"	"	50.0	"	13.5
黄 土	TBZ	593	593	53.0	46.0	23.5	22.0
	Thymol	"	"	"	51.0	"	"
	OPP	"	"	"	48.0	"	"
群 青	TBZ	468	468	63.0	59.0	6.0	6.5
	Thymol	"	"	"	60.0	"	6.0
	OPP	"	466	"	64.0	"	6.5

\*CIE 色度表：CIE（国際照明委員会）が定めた表色系

その結果、顔料の色合に変化はないが、明度が減少した。これは、顔料は変化せず明るさが増えたことを示している。この原因は、吹き付けた薬剤の白色粉末が顔料表面に析出したためである。析出の程度は、薬剤の結晶の性質・量と共に、顔料表面の凹凸または顔料の粒子の大きさによって左右される。本実験での析出の度合いは、TBZ>Thymol = OPPであった。各薬剤の析出が、色度表に影響しない限界は、TBZ 0.1%、Thymol 2.0%、OPP 0.5%のエチルアルコール溶液を50ml/m<sup>2</sup>の割合での吹き付けであった。

結晶の析出は、TBZが最も顕著であるが、TBZの防黴剤としてのすぐれた性質、すなわち、水に不溶、融点300℃、防黴効力の持続性、紫外線に対して安定等から、多湿な自然環境で有効な薬剤である。しかも、本実験により、明度の変化以外に供試顔料に化学的変化を与えない薬剤であるから、結晶の析出に留意すれば、建築彩色に発生する糸状菌を吹き付け処理で防除す



る薬剤として極めて有効であることが判明した。

なお、サンシャインウェザーメーターによる耐候試験も実施したが、対象と比較して供試した顔料に変化が認められなかった。

## (2) 唐油彩色に混合する薬剤

東照宮の透塀唐油彩色は、胡粉や朱で、画いた模様に *Cladosporium* spp. が発生する。唐油彩色とは、桐油と荏油を原料とし、これに密陀僧 (PbO) その他を加えて150~170℃で8~10時間鉄鍋で加熱処理して密陀油を調製し、これを基材として顔料を混合して密陀絵を画いたものを言う。従って、唐油彩色で糸状菌の養分となるのは、桐油と荏油であるので、これらの油に溶解して防黴効力を示す薬剤から、最も適当な防黴剤の検索を実施した。

TBZ は、桐油や荏油の原料油には溶解するが、加熱して調製した密陀油には溶解しなかった。Thymol は、桐油、荏油、密陀油のいずれにもよく溶解し、ペトリ皿の実験ですぐれた防黴効力を示した。そこで、密陀油に Thymol を1.0%及び10%溶解し、これに黄色のレーキ剤を混入し、漆手板で唐油彩色試料を作成した。Thymol 入りの密陀油は、いずれも速やかに固化し、十分に実用できるものであった。この手板は、20℃、70%RH に1年間保っても、糸状菌の発生が認められないので、Thymol を10%溶解した密陀油に胡粉を混合し、唐油彩色手板を作成し、東照宮透塀の北側で自然環境での防黴効力試験によって、1年間の効力持続が認められた。

## (3) 膠に混合する薬剤

日光社寺文化財の彩色の修復に用いる膠は、三千本である。膠は、蛋白質であるため細菌や糸状菌の養分供給源となり、夏季に膠の水溶液が腐敗する。従来、膠の防腐にフェノールを用いているが、フェノールは毒性が高く (LD<sub>50</sub>=530mg/kg rat)、しかも細菌に効力を示すが防黴効果の点では劣り、水への溶解度が8.5g/100g H<sub>2</sub>O であることから、さらに低毒性の防黴剤から選択する必要があると考えた。そこで、p-chloro-m-xyleneol (PCMX と略記、LD<sub>50</sub>=1,430 mg/kgマウス) と methyl-oxyethyl-dodecyloxyethylbenzyl-ammonium chloride (4級アンモニウム塩と略記する) の2種の薬剤について検討した。

### (i) 膠が示す防黴有効濃度

膠は、三千本を供試して10%膠水を調製した。これに市販のPCMX20%溶液 (商品名ホクバリ E400A) のPCMX が、膠の乾燥重量に対して0.1, 0.5, 1.0%となるように加えた。一方、4級アンモニウム塩溶液 (Quartersept25%原液) も膠の乾燥重量に対して0.1, 0.5, 1.0%加えた。それぞれの濃度の防黴剤を混合した10%膠水を、ペーパーディスクに含浸させて風乾し、馬鈴しょ平板培地上で *Aspergillus niger* IAM3001に対する阻止効力で、膠の防黴有効濃度を決定した。

その結果、PCMX を0.1%加えた膠は、防黴効力を示さず、0.5%になると、ペーパーディスク上に供試菌が繁殖せず、1.0%のとき阻止円を形成した。従って、PCMX は0.5%以上を膠に加える必要があり、実地に使用するときには1.0%加えるとよい。4級アンモニウム塩は、0.1及び0.5%加えたとき、供試菌がペーパーディスクの表面に繁殖し、1.0%のとき表面への繁殖を阻止した。防黴効力は、PCMX よりやや劣る。

### (ii) 平彩色試料による防黴有効濃度

スギ板に緑青の平彩色試料を作成した。すなわち、この平彩色は5つに区分し、PCMX をそれぞれ0.1, 0.5, 1.0%混合した膠で平彩色した3つの区と、2つの区は薬剤を加えない膠で平彩色してその1区を対照とし、他の1区にはTBZ 0.5%エチルアルコール溶液を50ml/m<sup>2</sup>の割合で吹付けた。この平彩色試料は、日光五重塔の第2重西側に置いた。

6か月後に観察すると、対照とPCMX0.1%混合区は、糸状菌が発生していた。しかし、

PCMX 0.5, 1.0%混合区及び TBZ 0.5%エチルアルコール溶液吹き付け処理区には糸状菌の生育が認められず、防黴効力を示した。

### (iii) 薬剤の顔料への影響

雁皮紙に15種の顔料(緑青(6), 緑青(9), 白緑, 群青(6), 群青(9), 白群, 弁柄, 岱赭, 赤紫, 古代紫, 丹, 朱, 密陀僧, 鉛白, 本洋紅)を塗布した試料に, PCMX 及び4級アンモニウム塩をそれぞれ1.0%混合した10%膠水を塗布し, 室温に1年間保って顔料に対する薬剤の影響を調べた。その結果, PCMX 及び4級アンモニウム塩は, いずれも供試した顔料に変化を与えなかった。

### (iv) 実地試験

日光五重塔は, 昭和50年から修復が行われ, 昭和53年12月に完成した。この間, 第3重の平彩色は昭和51年5~12月に, 第2重は昭和52年5~12月に, 初重は昭和53年6~12月にそれぞれ施行された。ここでは, 昭和53年4月に第2, 3重の西側平彩色に糸状菌が発生し, 初重の彩色中(昭和53年10月)に紅の部分に糸状菌が発生した。この糸状菌の防除に, TBZ 0.5%エチルアルコール溶液を50~100ml/m<sup>2</sup>の割合で吹き付け処理した。その後に, 糸状菌の繁殖が拡大した形跡はなく, 防黴効果が認められた。

日光二荒山神社大国殿の修復は, 昭和53年12月に完成した。これに先だつ6か月前に, 背面飛檐裏板に胡粉塗りを施すことになった。彩色工法の種類に関係なく, 胡粉塗り部位には完成直後から糸状菌の発生することが知られている。そこで, PCMX を1.0%混合した膠水で胡粉を塗布する実地試験を行った。

最も糸状菌の発生しやすい大国殿西側の背面飛檐裏板の南から9番目の板だけ従来法によって胡粉塗りを行って対照とし, その他の板はすべてPCMX 1.0%入り膠水で胡粉塗りを実施した(昭和53年6月)。8月末までは両者の間に差が認められなかったが, 10~11月にかけて対照とした板に灰黒色の *Cladosporium* spp.が着生し, 12月にはほぼ全面に繁殖した(図-82)。PCMX を混合した胡粉塗りは, この時点で糸状菌の生育を認められなかったが, 1年を経過した頃からPCMX の防黴効力が徐々に減退し, 昭和54年7~8月には大国殿の背面飛檐裏板80枚のほぼ全てに *Cladosporium* spp.が発生した。しかし, 繁殖の程度は, 対照に比べてPCMX を混合した胡粉塗りの方が遥かに少なかった。従って, PCMX 1.0%を混合した膠は, 多湿な自然環境での防黴効力の有効期間が1年以内であった。



図-82 胡粉塗布後6ヵ月で対照にカビ生育

## (4) 平彩色塗膜剥離要因の検討

### (i) 胡粉塗膜剥離の追試

大国殿の背面飛檐裏板の胡粉塗装の際に, 防黴剤PCMX 1.0%を混合した。この胡粉塗装が, 1年後に広範囲にわたって剥離するという現象が発生し, その原因が膠に混合したPCMXにあるという意見があるので, 追試して剥離要因を検討した。

膠は三千本を供試し, 10%膠水100mlを調製した。これに胡粉8g混合したものを基本とし, これにPCMX の1.0%添加と無添加を木片上に刷毛で1回と2回塗布した手板を作成し, 乾燥後室温(15±5℃), 27℃及び30℃, 95~99%RH の環境条件に保ち, 3, 6, 10か月ごとに観察記録した。

その結果、PCMX を混合した試験片は、いずれの環境に置いても 6 か月までは糸状菌の着生が認められなかったが、10 か月目には全ての試験片に糸状菌が発生した。その糸状菌の着生状況は、30℃、95～99%RH のときが最も顕著で、次いで15±5℃、27℃と減少する傾向を示した。これは、15±5℃のときは、表面での結露、27℃では乾燥気味であった等の理由に基く結果と考えられた。

本実験では、胡粉塗装の剥離は認められなかった。

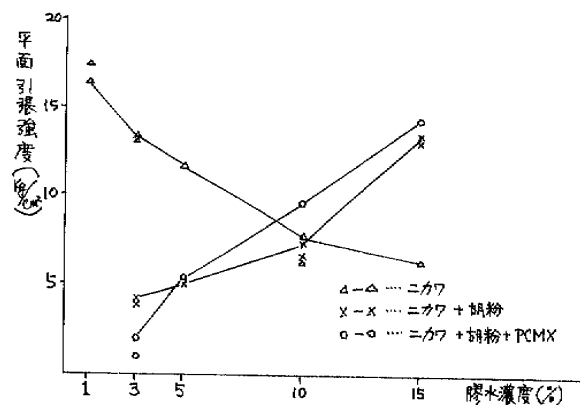
10 か月目には、胡粉塗装面に PCMX の結晶が観察された。これは膠水中に混合した PCMX が、蒸散しやすく、徐々に大気中に気化することを示し、PCMX の薬効が10～12 か月目に失効する現象と符合していた。

## (ii) 膠塗膜の接着強度

建造物の彩色は、顔料を膠液で接着する。胡粉塗膜の剥離と膠塗膜の接着強度との関連性を検討した。すなわち、膠（三千本）の濃度が、1、3、5、10、15%になるような膠液を作製した。各濃度の膠液を3つに分けて、膠液のみ、膠液(30ml) + 胡粉15g、膠液(30ml) + 胡粉15g + PCMX 1.0%の3種類の膠液を調製した。これをヒノキ材（10×20×0.5cm）に刷毛で10回塗布して十分に風乾し、手板を作成した。そして、3種類の膠塗膜の接着強度を、島津万能強度試験機で平面引張強度を測定して比較検討した。

供試した3種類の膠塗膜の平面引張強度を図一83に示した。これより、10%膠水で膠塗膜を作成したときは、胡粉混合塗膜、胡粉と PCMX 混合塗膜、膠単独塗膜の平面引張強度が、いずれも7～9 kg/cm<sup>2</sup>を示す結果が得られた。すなわち、膠塗膜の種類の中に、接着強度の優劣が認められなかった。

しかし、10%以下の膠水で胡粉等を混合した膠塗膜を作成すると、膠塗膜の接着強度が著しく減退した。ただし、胡粉塗膜と胡粉・PCMX 塗膜の接着強度は、ほぼ同じ値を示し、PCMX を混合したために膠塗膜の接着強度が減退することはないことが判明した。



図一83 膠塗膜の引張強度

上述の結果から、10%の胡粉膠水に PCMX を混合しても、塗布して作成した胡粉塗膜の接着強度が低下して、塗膜の剥離を誘引する要因とはならない。むしろ、塗装時の膠水の濃度が10%以下になると、接着強度が10%膠水で作成した膠塗膜より2.5～5.0 kg/cm<sup>2</sup>減退することを示していた。従って、筆者は胡粉塗膜の剥離の要因は、塗装作業時の膠水の濃度の影響が大きいと考える。これは、塗装作業時に起り得る問題であるから、今後留意する必要がある。

参考までに、1 匁≒4.0g として換算すると、伝統的に建築彩色で用いてきた膠水の濃度は、約10%膠水に相当している。胡粉等顔料を混合したときに、膠塗膜が最も高い接着強度を示す濃度を、経験的に選択している伝統技法の知恵に脱帽せざるを得ない。

## (5) 膠に混合する薬剤の再検討

胡粉彩色の際に、膠に混合する低毒性で防黴効力を示す防黴剤として PCMX を選定し、大國殿の背面飛檐裏板の胡粉塗装に応用した。塗装後 6 か月間は、対照との間に歴然とした差を示し、PCMX の防黴効果が顕著に認められた。しかしながら、12 か月後には、PCMX 入り胡粉塗装と対照との間に差が認められなくなった。これは、PCMX の防黴効果が失効したため、自

然界でPCMXを用いるときの限界を示した。

そこで、胡粉彩色の防黴を目的とし、膠に混合してPCMXより残効性その他で優れた性質を示す防黴剤の検索を行った。

#### (i) 実験方法

三千本で10%膠水を調製し、これに乳ばちで粉砕した胡粉を加えて湯せんの中でよく混合した。これに防黴剤を加えて均一に攪拌した後、刷毛で木片上に塗布した。胡粉と防黴剤の添加量は、10%膠水100mlに胡粉35g及び防黴剤1% (v/v) の割合の試料を作成した。

本実験には、次の5種類の低毒性防黴剤を供試した。すなわち、

- a) サイアベンダゾール (TBZ)
- b) オマジン・ジサルファイド (ODS)
- c) インチアゾロン (ITZ)
- d) TBZ+アミカル48 (TBZ-A)
- e) パラクロロメタキシレノール (PCMX)

である。

防黴効力の判定には、日本カビ抵抗性試験法 (JIS-Z2991) で定めている菌株から、次の4菌株を供試した。すなわち

*Aspergillus niger* ATCC 6275

*Penicillium citrinum* ATCC 9849

*Chaetomium globosum* ATCC 6205

*Cladosporium herbarum* IAM F517

である。

培養には、ペトリ皿の培地上に胡粉彩色試料片を直接置いて培養する「湿式法」と培地上にプラスチック製網を敷きその上に試料片を置く「乾燥法」を用いた。培地は、ペプトン1.0%、グルコース4.0%、寒天2.5%の組成で、これに供試した4菌株の分生子を滅菌水に懸濁した1mlを接種した後、胡粉彩色試料片をペトリ皿の中央に置いた。培養温度は $28 \pm 2^\circ\text{C}$ と室温で、湿式法は14日間、乾燥法は28日間培養して判定した。

#### (ii) 結果及び考察

5種類の低毒性防黴剤について、膠水に混合して胡粉彩色としたときの糸状菌防除効果を比較検討した。その結果、次の知見を得た。

- a) 湿式法のとき、供試した防黴剤は、次のようなカビ抵抗性を示した。

(PCMX) > (TBZ) > (TBZ+A) > (ODS) > (ITZ)

- b) 乾式法のとき、供試した防黴剤は、次のようなカビ抵抗性を示した。

(PCMX) > (ODS) = (TBZ-A) > (ITZ) > (TBZ)

上記の結果を次のように考察した。

- a) PCMXが高いカビ抵抗性を示したのは、本実験をペトリ皿で実施したので、供試防黴剤の蒸気圧がカビ抵抗性の効果に影響を与えていると考えられた。PCMXは、他の薬剤に比べて蒸気圧が高いため、蒸散してペトリ皿内に充満するため高いカビ抵抗性を示した。戸外では、気化した薬剤は大気中に放散し、膠塗膜の薬剤が減少するので、その結果として防黴効力の減退を招くものと考えられた。
- b) TBZは、乾式法より湿式法で高い防黴効力を示した。これは、TBZの水に対する溶解度が極めて小さいので、水分の少ない乾式法では防黴効力を発揮し難い傾向を示していた。

- c) TBZ+A は、湿式法と乾式法の両方で高い防黴効力を示した。これは、薬剤の特性から残効性も期待できるので、今後中間試験を経て実地試験を試みる価値のある防黴剤である。
- d) ODS は、湿式法と乾式法の両方で可成高い防黴効果を示した。しかし、水溶性であることと鉄に錆を誘発するので、この点に注意する必要がある。
- e) ITZ は、比較的高い防黴効果が認められているが、残効性は PCMX と同程度と判断される。

(iii) 付記

防黴剤ファビケム AL-100を建築彩色に使用する可能性について諮問を受けた。筆者は、本剤について基礎的並びに実験的調査を行った結果、次のように判断した。すなわち、本剤の有効成分は、メチレンビスチオシアネートで、10倍に希釈して用いると広範囲の糸状菌の生育を阻害する。しかしながら、本剤の毒性試験によると、BHC, DDT に担当する毒性を示すという記載もあるので、安全性の面で懸念が残る。しかし、建築彩色に塗布して防黴効果を示せば、防黴剤として有望かもしれない。なお、材質への影響にも留意すべきである。

## 2. 4 お わ り に

建築彩色の糸状菌の防除対策を長期にわたって検討してきた。これまでの知見を要約すると、彩色の表面処理方法では、Thymol の5.0%エチルアルコール溶液で0.05ml/cm<sup>2</sup>処理またはTBZ 0.5%エチルアルコール溶液で50~100ml/m<sup>2</sup>処理で効果が認められている。一方、膠に混合処理方法では、TBZ+アミカル48の利用が期待されるが、なお中間規模の実験と実地試験が残されている。

(新井英夫)



## V. 建造物の生物被害調査

### 1. はじめに

国宝・重要文化財日光社寺建造物は、日本列島本州の北緯36.7度、標高586mに位置する栃木県日光市山内に建立されている。日光市山内は、スギの大本を含む多数の樹木に囲まれ、年間の最高平均湿度が80～85%RHという極めて湿潤な環境を形成する。さらに、冬季は雪が多く、雪解け時期には排水不良も加わって、雪解け水が床下に達する建造物もある。従って、日光の建造物は、常時多量な水分を供給される環境に置かれている。気温は、夏でも20℃に達する程度である。

筆者らは、日光社寺建造物の生物被害の防除対策並びに今後の研究方針を立案する資料とするために、日光山内に配置されている110棟の国宝・重要文化財社寺建造物のなかで、比較的顕著な生物被害の認められている建造物及び被害の懸念される16棟について、昭和50年9月にその状況を調査した。その結果をここに記録に留めることにした。

なお、日光社寺建造物で木材腐朽菌以外の菌類によって木材が劣化し、上から押すと弾力を生じている劣化を「フケ」と称した。フケという言葉は、「蒸け」と書き、「むれ」の意も含むが、漆塗膜下の木材の「むれ腐れ」と区別するために、本報告では日光山内における木造建造物の上述の劣化現象を「フケ」と表現することにした。

### 2. 各建造物の被害状況

#### (1) 御旅所

境内が比較的広く、それ程多湿になる環境ではない。しかし、昭和49年にクロルデン系の薬剤で、土壌処理と木部吹付け処理が行われている。しかしながら、前回の修理の際に、被害の少なかった本殿では根太、拝殿では大引を再使用しているので、これらの材に腐朽及びキクイムシの被害が認められた。

#### (2) 常行堂

常行堂は、従来から被害発生の頻度の高い建造物で、昭和49年に防蟻処理を施している。

今回の調査では、床下の大引及び床束、根がらみのフケが著しく、キクイムシの食痕も認められた。各床束の下部には、白色の糸状菌が発生しており(図—84)、防腐・防黴剤は、すでに効力を消失していた。

堂内に安置してある5羽の鳳凰は、いずれも足の付け根付近に白色及び淡褐色の糸状菌が発生して増殖中であった(図—85)。また、堂内の畳の表面に、黄土色及び黒褐色の糸状菌が一面に発生し(図—86)、祭壇上に昆虫の虫粉が認められた。

#### (3) 大猷院宝庫

この建造物は、大正期に修理されて現在に至り、すでに耐用限度を越えているので、昭和50年度の修理工事が予定されている。

柱及び土台の木材が著しく腐朽されていた(図—87)。また、漆塗膜は、亀裂、剝離が各所に認められ、特に床組材の土台等に顕著であった(図—88)。

カビの菌糸が束状に繁殖しているのが、床下の漆塗膜に観察された(図—89)。これはナミダタケであった。さらにフケの原因となる白色のカビが、根太・床束(図—90)等に繁殖し、その菌糸上に結露が認められた(図—91)。

宝庫の東の壁面に、緑藻が多数着生していた。これは、宝庫が常時日陰で多湿な立地条件に

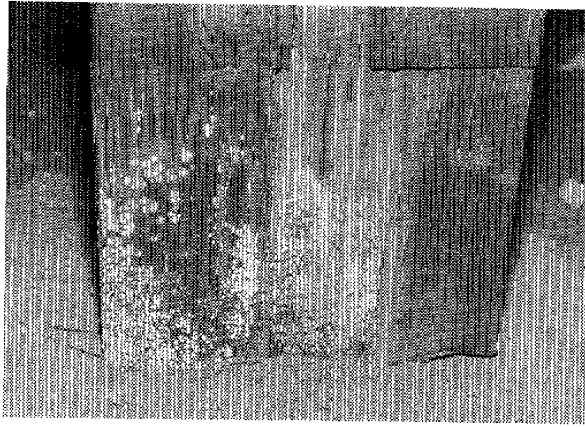


図-84 常行堂床下のフケ著し、白色のカビ (昭. 50)



図-85 常行堂の鳳凰にカビ (昭. 50)

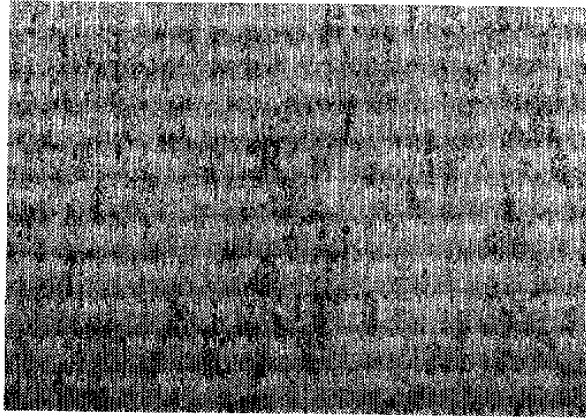


図-86 常行堂内の畳にカビ (昭. 50)

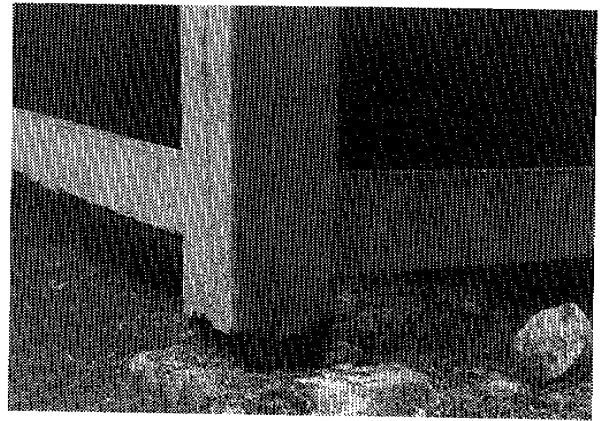


図-87 大猷院宝庫の柱等の腐朽

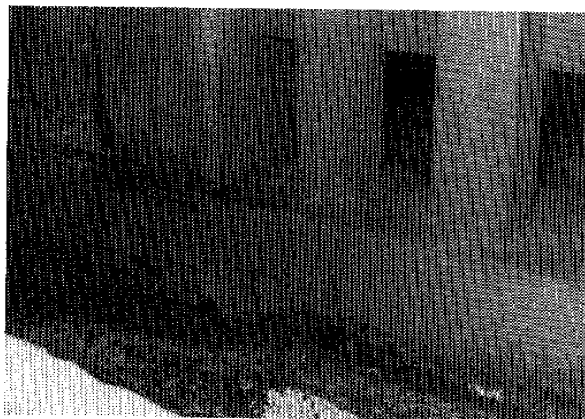


図-88 同前、漆塗膜の亀裂・剝離

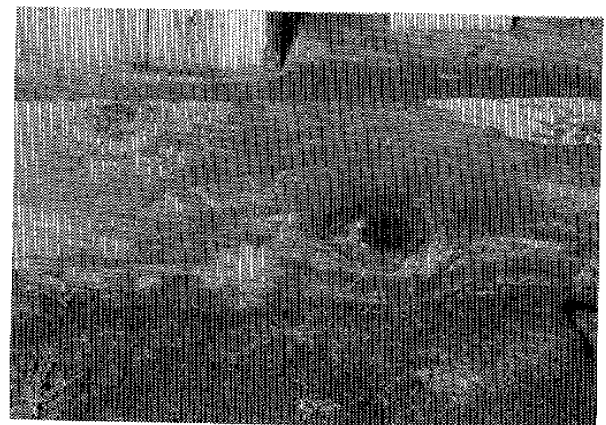


図-89 床下に著しいナミダタケ

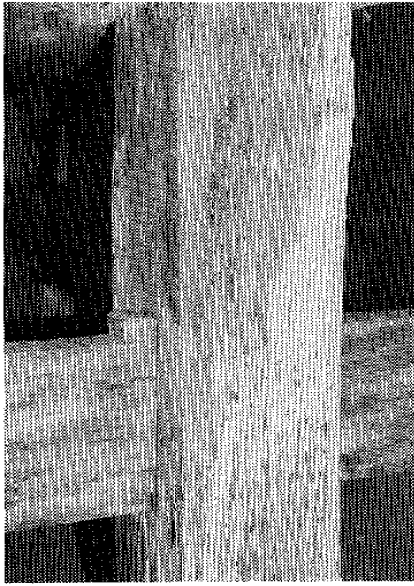


図-90 大猷院宝庫床組材に白カビ（フケ）

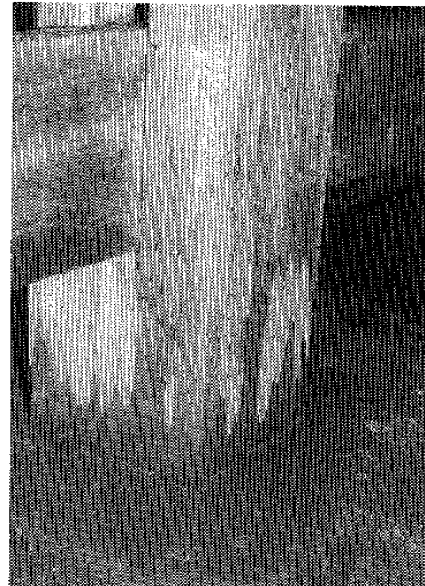


図-91 同前，結露著し

由来することを示していた。

#### (4) 大猷院二天門

二天門の東南にあるヒノキ材に漆塗装した金剛柵 3 本に、木材腐朽菌の若い子実体が、漆塗膜の亀裂を押し上げて、多数発生していた。この木材腐朽菌は、木材の白色腐朽を誘引するアラゲカワラタケ (*Coriolus hirsutus*) の子実体で(図-92)、柵の木部内には同菌の菌糸が充満していた(図-93)。また、この子実体の一部に、キノコムシの幼虫が発生して

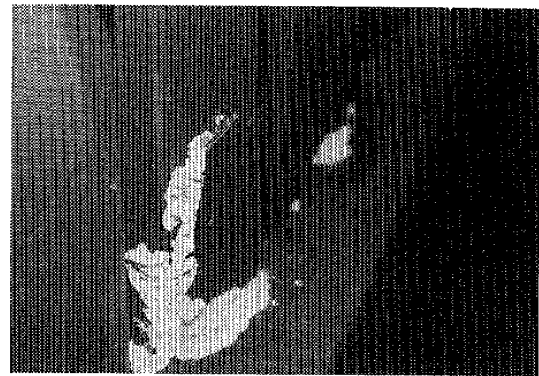


図-92 金剛柵に発生したアラゲカワラタケの子実体



図-93 金剛柵の木部にはアラゲカワラタケの菌糸が充満

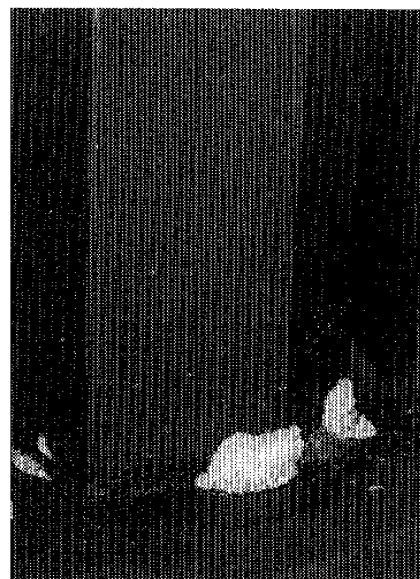


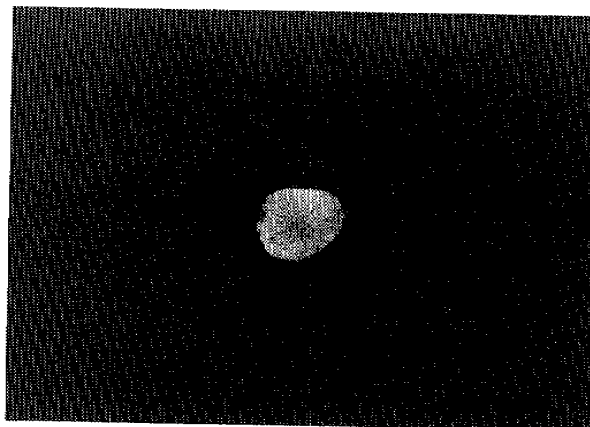
図-94 同前，アラゲカワラタケにキノコムシの幼虫

いた（図－94）。

#### (5) 二荒山神社本殿

本殿の床下は、4～5 mの空間があり、通気は良好である。従って、今回の調査でも保存状態は良好であった。しかし、縁東から木材腐朽菌の子実体が発生したこともあるとのことなので、季節によって高湿度になることもある模様である。

本殿廻り瑞垣の土台に、木材腐朽菌の子実体が発生していた。これは、褐色腐朽菌イチョウタケ（*Paxillus panuoides*）であった（図－95）。



図－95 二荒山神社本殿廻り瑞垣にイチョウタケ

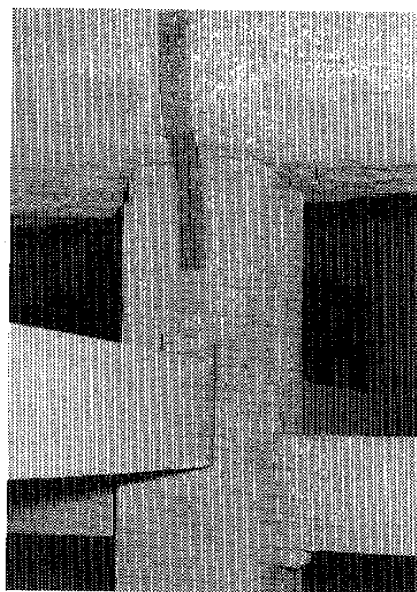
#### (6) 東照宮下神庫及び中神庫

下神庫東側漆塗り柵に、褐色腐朽菌イチョウタケの子実体が発生し、南側の柵には褐色腐朽菌ナミダタケ（*Serpula lacrymans*）の子実体が発生していた（図－96）。

床組材には、ベンガラを塗布してあるが、大引の表面には、カビが白色斑点状に繁殖していた（図－97）。



図－96 東照宮下神庫柵にナミダタケ



図－97 東照宮下神庫床組材のベンガラに白カビ（フケと同類）

#### (7) 上神庫

北側外壁の小屋梁の上にある彩色は、朱土、胡粉にカビの発生しているのが観察された。これと同一の現象が輪蔵にも認められた。しかし、床下には生物被害が認められなかった。

#### (8) 神厩

シバンムシが、建造物の内外に着生して加害中であった。例えば、内部の天井板鴨居等のシバンムシの食害が甚大で、他の建造物へのシバンムシの波及が懸念された。外部の材にもシバンムシの新しい虫粉が観察された。

南側の鴨居の上の彩色には、カビが発生していたということであった。今回の調査の際にはカビが認められなかったが、以前にカビが繁殖した部位の緑青の部分は、上塗りが落ちて、カ

ビの発生しない部位より淡色になっていた。

#### (9) 経蔵

昭和47年に修理工事の完了した建造物である。建造物の西側外部の彩色には、著しくカビが着生していた。特に、胡粉に発生すると灰黒色を呈するが、その他朱土、緑青及び唐油彩色の白色、緑色、金泥上にも黒色のカビが一面に生育していた。このカビはクラドスポリウム菌 (*Cladosporium* spp.) であった。

#### (10) 本地堂

本建造物北側の縁束に、ナミダタケ (図-98) とアラゲカワラタケ (図-99) が発生していた。なお、本地堂前の付属設備の木材からコゲイロカイガラタケを採集した (図-100)。

#### (11) 東照宮鼓樓

ベンガラを塗布した床下の根がらみ、柱下部に、カビが白色斑点状に着生していた。下神庫床下と同一の現象であった。

#### (12) 東照宮拝殿

拝殿の床下は、本殿の床下より一段低くて石敷きである。空気の流通が不良で、鉄製止金及び根太の側面や下面に結露が著しかった (図-101)。このため、根太及び根がらみにはフケが多く、南側の大引きにはフケの原因となる白色斑点状糸状菌が認められた。

上面を漆塗装してある床板は、褐色腐朽が進行して (図-102)、観覧者が通ると腐朽した床板の粉が落ちる程で、危険であった。

#### (13) 東照宮本殿

床下は、保存状態が比較的良好で、顕著な生物被害が認められなかった。

#### (14) 東照宮の東西廻廊

西廻廊は、梅雨期には壁面を結露が流れる程高湿度になる。今回の調査の際にも、壁面に一面の結露が認められ、亀甲模様の彩色では、朱が溶出している部分があった。

唐油彩色の胡粉や朱に暗灰色のカビが発生していた (図-103, 104)。これは、経蔵の唐油彩色のカビと同種のクラドスポリウム菌であった。

西廻廊の土台材に、木材腐朽が認められたが、子実体を形成していなかったので種の同定はできなかった。

#### (15) 五重塔

耐用限度を越えているため、昭和50年度から修理工事が予定されている建造物である。第1層の彩色は大正期、第2層から第5層の彩色は江戸期と言われている。

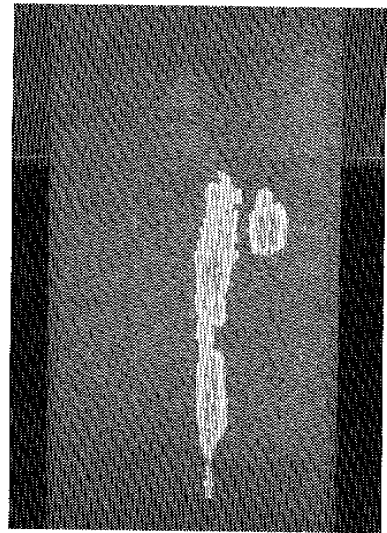


図-98 本地堂縁束にナミダタケ

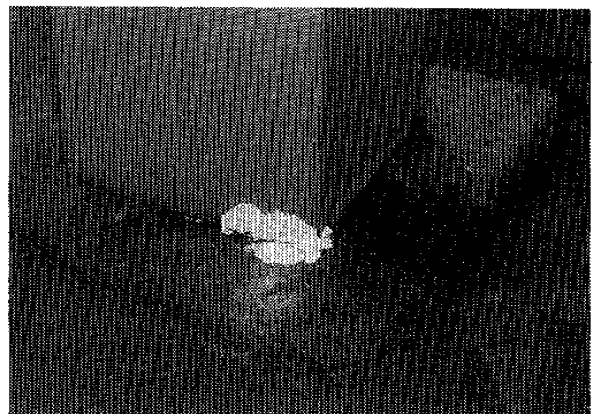


図-99 同前、アラゲカワラタケ

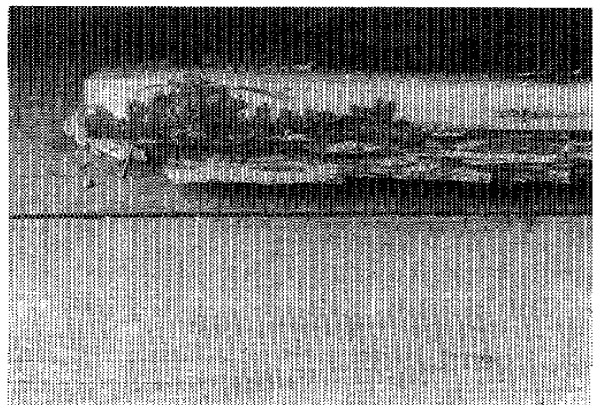
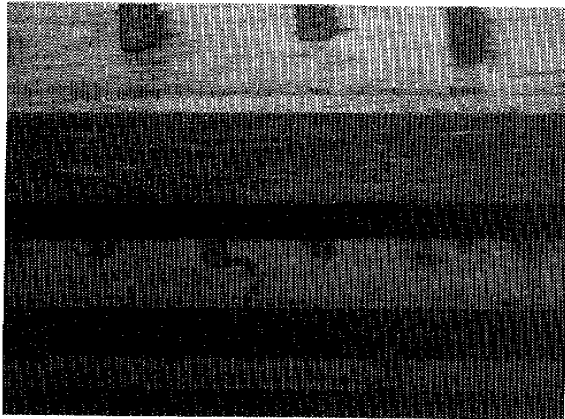
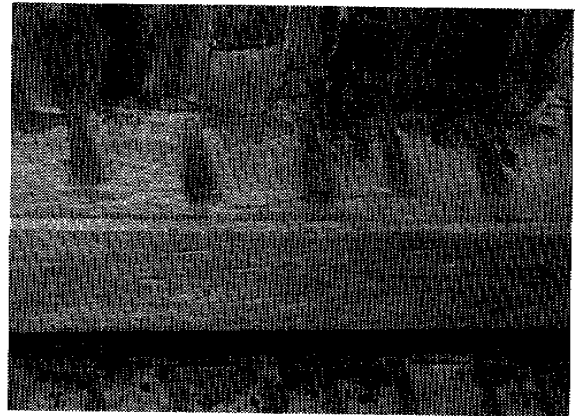


図-100 本地堂前で採集したコゲイロカイガラタケ

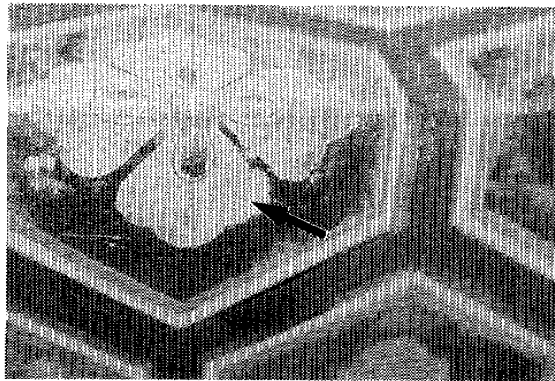




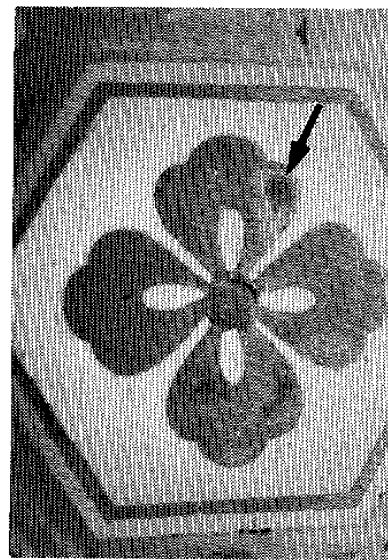
図一101 東照宮拝殿床下、根太に結露、フケ、白カビ多し



図一102 同前、床板に褐色腐朽



図一103 東照宮東西廻廊の唐油彩色の亀甲模様の胡粉にクラドスポリウム菌



図一104 同前、朱にクラドスポリウム菌

縁束に、甚大な白色及び褐色腐朽が認められ、縁廻りの床板にも褐色腐朽が存在していた。

### 3. 生物被害の防除対策

#### 3-1 神厩の虫害

神厩は、今回調査した16棟のなかでは、シバンムシの被害が最も甚大であった。しかも、現在も加害が進行中であった。このままでは、神厩で増殖したシバンムシが、周囲の建造物または木造文化財等に伝播する可能性がある。緊急に加害虫を殺滅する処置を講ずる必要がある。

#### 3-2 床組材等のカビの被害

今回の調査によって、日光市山内の木造建造物には、2種類のカビの被害が存在することが判明した。その1つは、木材腐朽菌によって、構造材がその強度を喪失する被害である。これは、日光山内が極めて多湿な環境を形成しているのと、日光社寺建造物のほとんどが塗漆建造物であることと密接な関連がある。すなわち、土中の水分が建材の木部に吸収されても、木材表面は漆塗装をしてあるため水分は速やかに大気中に蒸散できず、木材内部に長期間保持されていることになる。このような状況は、木材腐朽菌にとって絶好な繁殖条件を提供することになる。特に、土台、縁束、柵などで、木材腐朽菌の子実体が認められた。その2は、「フケ」と

称したカビによる木材の劣化現象であった。フケは、各建造物の床組材に共通して見受けられ、木材表面での結露と密接に関連しているものと考えられる。そして、木材は劣化されて膨潤し、弾力を帯びるようになる。

これら木造建造物の防腐防黴は、日光山内のように多湿な環境では、油性の薬剤がより残効性を示すであろう。しかし、一方で漆の塗装、彩色等が存在しているので、水性またはエタノールに溶解した薬剤の利用も考慮しなければならない。このような条件を考慮するならば、薬剤の有効期間を考慮して数年に1回は防腐、防黴処理を実施する態勢をとることが必要である。その際には、最も適した薬剤の選択も不可欠の要件であろう。

### 3-3 彩色のカビ

日光山内では、彩色の胡粉、緑青、朱土及び唐油彩色に著しくカビの発生することが知られている。彩色の修理工事後直ぐ発生するので、せめて1～2年でもカビの発生を防止したいという強い要望がある。筆者のこれまでの調査研究から、彩色に着生するカビは、主としてクラドスポリウム菌で、これらは顔料の接着に用いる膠を養分としている。従って、彩色のカビを防除するには、膠に防黴効力を付与する以外に方法はないと考えている。この考えに基いて、各種防黴剤の選択を実施したが、その詳細は本稿IV, (2), 2, 3に詳述した。

(森 八郎・新井英夫)

## VI 日光山内の気象

### 1. はじめに

東照宮・二荒山神社・輪王寺大猷院など二社一寺のある山内は標高が600～700mで、背後に男体山など2000m級の高い山をひかえ、平地とは異なった文化財の環境をつくっている。日光周辺の気象庁観測所は、今市市（標高414m）と中禅寺湖畔（標高1292m）にあるが、どちらも山内とは標高が異なるため、そのまま山内の気象として用いることはできない。このため、山内の気象（特に温湿度）を明らかにするために観測を行った。

### 2. 観測の方法

#### 2-1 使用機器

温湿度の観測には、自記温湿度計（7日巻）を用いた（脚注）。温度の受感部にはバイメタル、湿度の受感部には脱脂毛髪を用いる形式で、博物館などで通常使用されるものである。これらの自記温湿度計には計器出荷時の許容誤差として、温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内、湿度 $\pm 5\%$ 以内が与えられている。

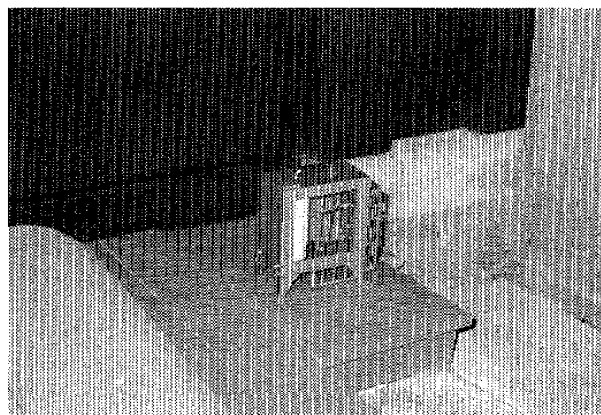
計器の補正は、予め恒湿槽で較正しておいた電気式湿度計で行った。観測結果として示す値は、読み取り値を補正した後の値である。ただし、頻繁に補正を行なえなかったので補正後の値についてもある程度の誤差を見込む必要がある。

#### 2-2 観測期間

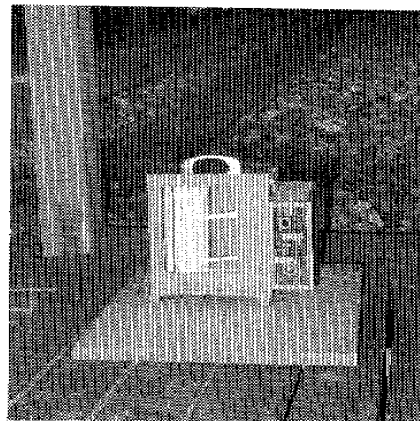
昭和50年1月10日から昭和55年1月10日まで観測を行った。前半（昭和51年5月14日まで）と後半（昭和51年5月15日以降）で、次に述べるように観測場所を変えた。

#### 2-3 観測地点

東照宮、二荒山神社、輪王寺大猷院の三ヶ所で温湿度を観測した（図一105、106、107）。記

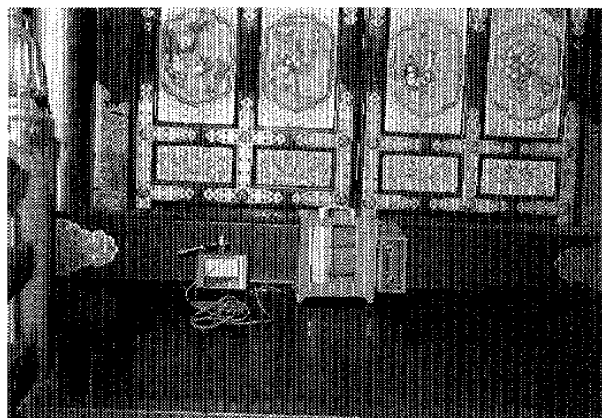


図一105 自記温湿度計（東照宮本殿東側）



図一106 自記温湿度計（二荒山神社本殿東南側）

（脚注）記録用紙の取り替えは保存会の方をお願いした。ご協力いただいたことに感謝申し上げます。



図一107 自記温湿度計（輪王寺大猷院本殿東側）と電気式温湿度計による較正の様子

録計の設置場所は、できるだけ直射日光や雨が当たらない場所を選んだが、東照宮で冬期観測中、自記記録計に直射日光が当たっていたことがあり、位置を少しずらして設置しなおした。

また観測位置を表一7のように移動して、それぞれの境内の異なる地点での気象の違いを調べた。図一108に山内での配置を示した。

### 3. 結 果

記録計の故障やペンのインク切れなどで、温湿度記録に欠落した部分が多かったが、比較的継続して一年間観測できた結果を整理して表一8から表一10に示す。前章で述べたように、補正後の観測値（特に相対湿度）も誤差を含んでいると考えられる。東照宮の昭和51年夏の相対湿度が異常に高いのは、この誤差のためもあるのではないかと推定される。また逆に昭和52年

表一8 東照宮における月平均気温と相対湿度

月	気 温			相対湿度		
	昭和50年	51～52年	昭和54年	昭和50年	51～52年	昭和54年
1	(-1.5)	0.3	1.3	(67)	76	66
2	-0.1	1.5	3.0	56	71	71
3	2.6	5.5	3.8	63	(78)	61
4	8.4	11.9	9.2	66	82	63
5	12.6	(14.3)	13.4	69	(84)	68
6	16.2	(15.9)	20.0	78	95	74
7	19.7	18.2	***	78	94	***
8	23.1	19.3	24.5	78	96	78
9	19.6	17.2	20.6	79	95	78
10	13.9	(13.6)	16.0	81	(92)	76
11	9.1	(7.7)	10.1	75	(81)	74
12	3.3	5.2	4.5	70	81	70
年平均	10.6	10.9	(12.1)	72	85	(71)

(注1) 昭和51年～52年については、1～4月が昭和52年、5～12月が昭和51年の観測値を基にそれぞれ算出した値である（他の表についても同様）。

(注2) 括弧に挟まれた値はデータに欠落が多いため、仮に算出した平均である。また\*\*\*は、観測できなかったことを示す（他の表についても同様）。





表一 9 二荒山神社における月平均気温と相対湿度

月	気 温			相対湿度		
	昭和50年	51～52年	昭和54年	昭和50年	51～52年	昭和54年
1	(-2.5)	-3.4	0.8	(69)	63	66
2	-2.2	-1.6	3.7	60	58	71
3	0.9	2.8	3.2	60	66	61
4	8.0	8.8	8.0	65	70	67
5	12.2	(15.6)	11.8	70	(76)	70
6	16.0	19.4	18.2	80	86	79
7	20.0	(23.4)	***	78	83	***
8	22.6	***	22.2	82	84	81
9	21.0	***	19.1	81	82	82
10	14.8	***	14.8	80	(75)	77
11	10.3	***	9.2	78	(70)	78
12	4.8	(2.9)	4.8	73	(65)	68
年平均	10.5	***	(10.9)	73	73	(73)

表一 10 輪王寺大猷院における月平均気温と相対湿度

月	気 温			相対湿度		
	昭和50年	51～52年	昭和54年	昭和50年	51～52年	昭和54年
1	(-3.5)	(-3.9)	0.5	(64)	76	59
2	-2.0	-2.0	-1.3	61	79	58
3	0.7	1.8	2.0	61	86	61
4	7.9	(7.3)	7.7	62	85	67
5	12.9	(12.7)	13.9	65	(80)	74
6	16.9	15.2	(18.3)	76	88	(72)
7	20.5	17.3	***	73	86	***
8	21.3	18.9	22.7	84	87	77
9	18.6	16.3	17.9	85	83	78
10	11.2	(12.5)	12.1	84	77	74
11	6.2	(5.3)	7.7	82	(65)	71
12	-0.4	(2.8)	4.1	73	65	67
年平均	9.2	8.7	(9.7)	73	80	(69)

1月から4月の二荒山神社の相対湿度が他の二ヵ所に比べて10%以上低く、年平均湿度が他より低くなっているのも、同じような理由によると推定される。このため結果の取扱については細かな議論は避けて、山内の気象の全般的な傾向を読みとることに重点を置いた。

整理の方法は気象庁の方式にならい、記録用紙から温度・湿度とも、各日について3時、9時、15時、21時の指示値を読みとり、それを平均して日の平均とした。さらにそれを各月とも、上旬(1～10日)、中旬(11～20日)、下旬(21日～月末)毎に平均して各旬の平均値として、

それから各月の平均値を出し、最後に年平均値を算出した。さらに各年・各地点で算出した月平均値をまとめて平均し、日光山内の温湿度を求め、気象庁の日光観測所と京都・奈良の平年値と併せて表-5に示した。

三か所の観測点での測定値がそろっている、昭和50年度の気温と相対湿度をそれぞれプロットして互いに比較したものが、図-109と図-110である。さらに同じデータを、相対湿度を横

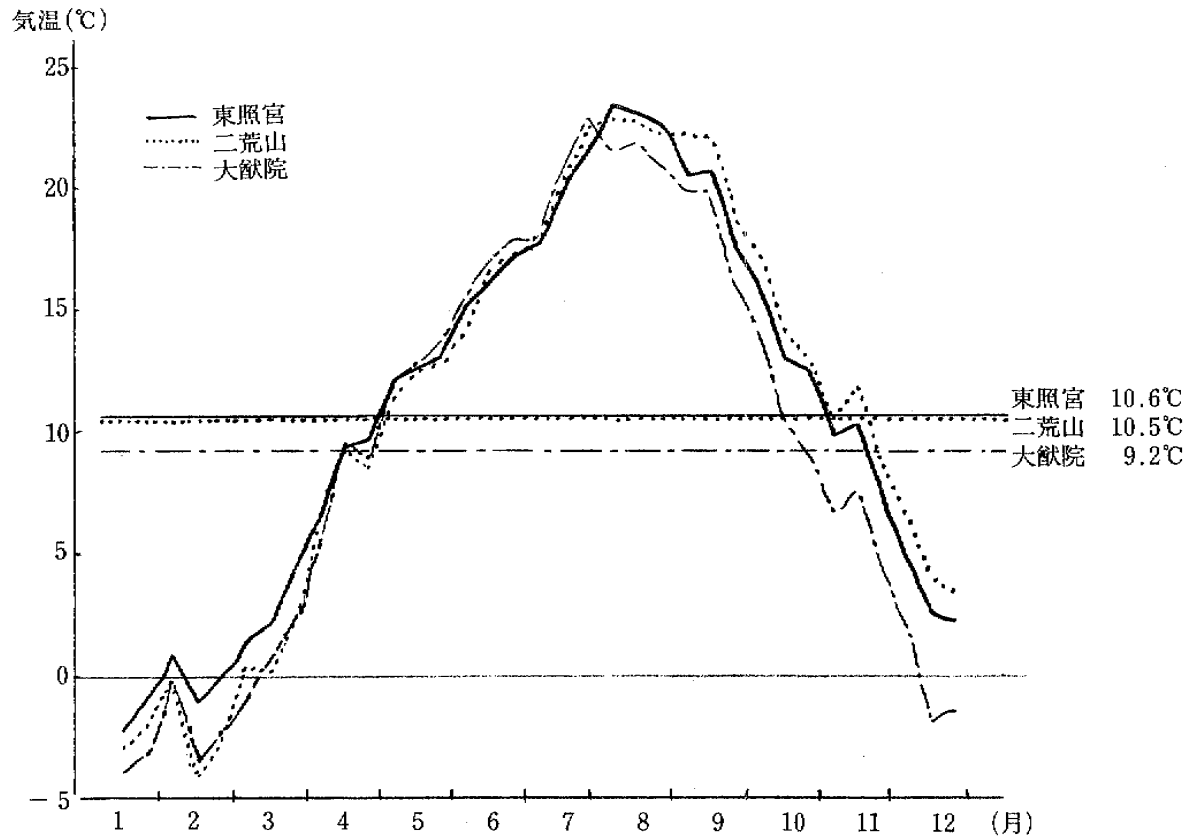


図-109 山内での年間気温変化の比較 (昭和50年) (横線は平均値)

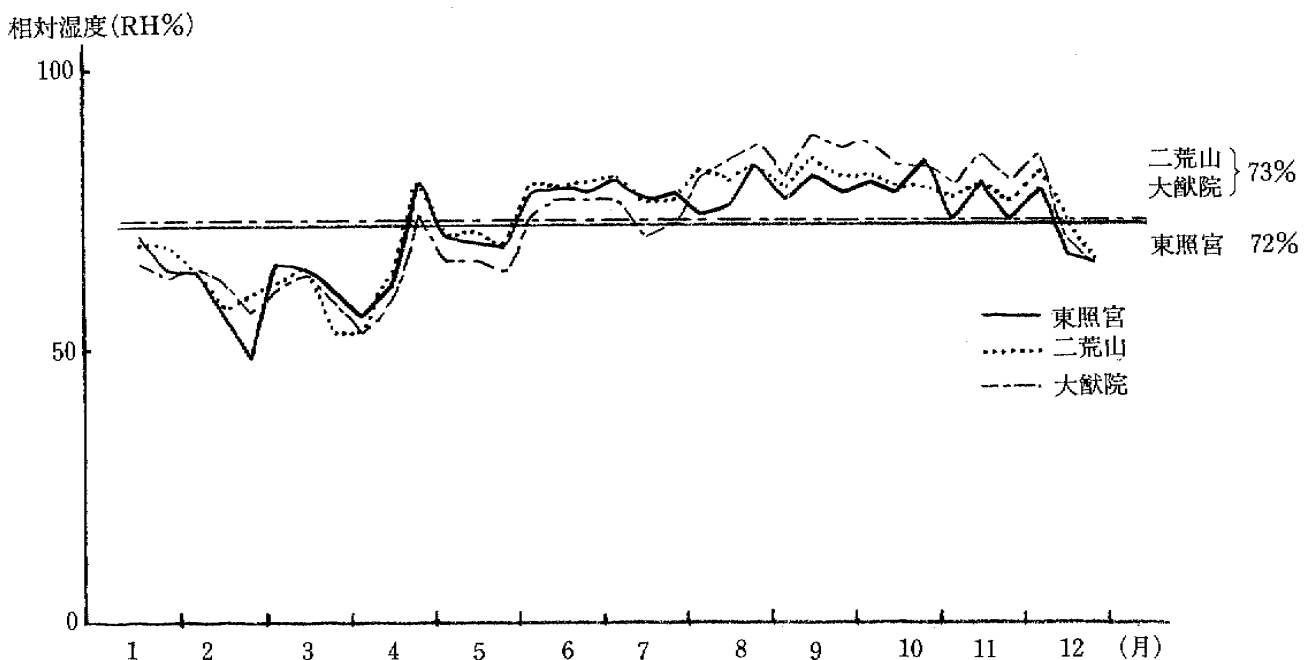


図-110 山内での年間相対変化の比較 (昭和50年) (横線は平均値)

軸に、気温を縦軸に取ったクリモグラフに表わしたものが図一111で、この図から観察地点相互の気象の違いを考察することができる。

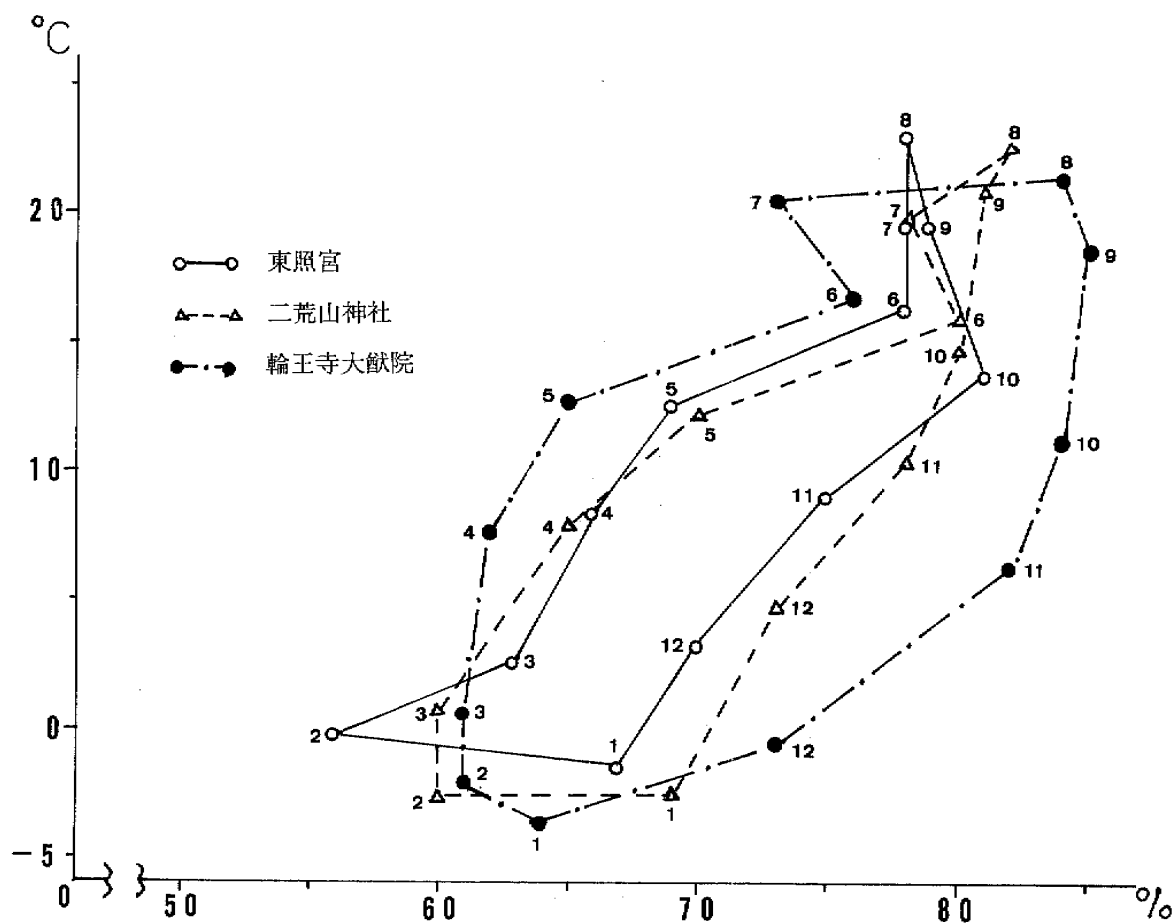
## 4. 考 察

### 4-1 二社一寺での気象の比較

東照宮、二荒山神社、大猷院のそれぞれの観測点を観測期間の前半と後半で変更したが、観測位置の違いによる温湿度の差はあまり見られなかった。後半、東照宮と大猷院（二天門）では、自記記録計を外気が自由に出入りする建物の屋根の下に置いたので、放射冷却の影響がなくなって冬期の気温の低下が幾分やわらげられたように見えるが、その違いは年による気温のばらつきと機器の誤差の範囲の中に入って明確でない。

山内で比較すると、気温は東照宮、二荒山神社、大猷院の順に低くなる。この順序は山内での標高に対応していて、数十メートル程度の標高差が、年平均気温で1度以上の違いを生じさせていることになる。気温の差は、特に秋から冬にかけての寒い時期に目立ち、昭和50年の12月には、まだ東照宮や二荒山神社では気温が2度以上あるのに、大猷院では氷点下に気温が下がっていた（図一109参照）。

寒冷な地域では、建造物の礎石などに含まれる水分が凍結することによる、文化財の凍結破壊の被害が大きな問題になっているが、この日光でもそのような危険があることが指摘できる。例えば、柱や壁などの表面に塗られた漆にひびが入っていて、そこに雨水などが浸入している



図一111 山内のクリモグラフ（昭和50年）

場合には、漆の塗膜を大きく破壊する恐れがある。大猷院は他の地点に比べて、12月の初めから3月半ばすぎまで長い期間、平均気温が零下の日が多いので、凍結破壊については、東照宮や二荒山神社に比べてより一層、注意する必要がある。

次に山内の相対湿度を比較すると、年平均値（昭和50年）は東照宮、二荒山神社、大猷院の三カ所とも大体73%前後で、ほとんど差がない。図-111のクリモグラフで二社一寺の気象を比較すると、東照宮と二荒山神社はほぼ似たグラフの形をしているが、大猷院は横幅の広いグラフとなっている。これは、他の二カ所に比べて夏から秋、湿度の高い時期が長く続くことを表わし、おそらく山側からの霧の影響を受けているのではないかと考えられる。

#### 4-2 日光山内の気象と他の比較

日光山内の気象の特徴を調べるために、表-11を基にクリモグラフをつくった（図-112）。年平均で見るとあまり違いがみられなかったが、クリモグラフでは日光山内の気候の特徴が明確になる。奈良や京都では、季節により温度が変化しても相対湿度はあまり変化せず、グラフは横に細く縦に立っているのに対し、日光山内では季節による相対湿度の変化が大きく、左下から右上にかけて斜めになっている。すなわち、空気中に含まれる水分量（絶対湿度）の変化が大きく、木材などが冬には乾燥し、夏には湿るといった大きな変化を起こすこととなり、柱のひび割れや彩色の剥落など、文化財にとって好ましくない現象が起きる危険性が京都や奈良より強い。

このように、年平均値はほぼ奈良や京都と同じでも、日光山内は標高が高いことと山からの湿気の影響を受けて、冬期には厳しい寒さによる文化財の凍結破壊の恐れがあり、夏から秋に

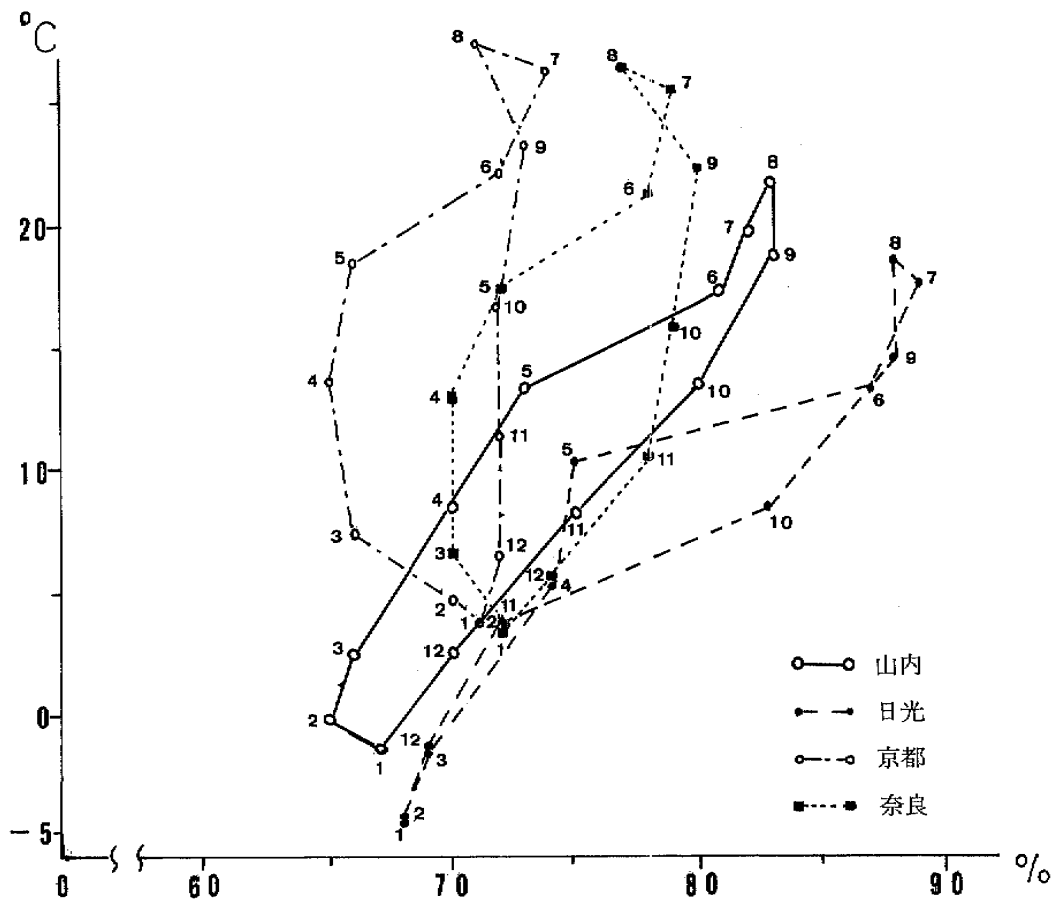
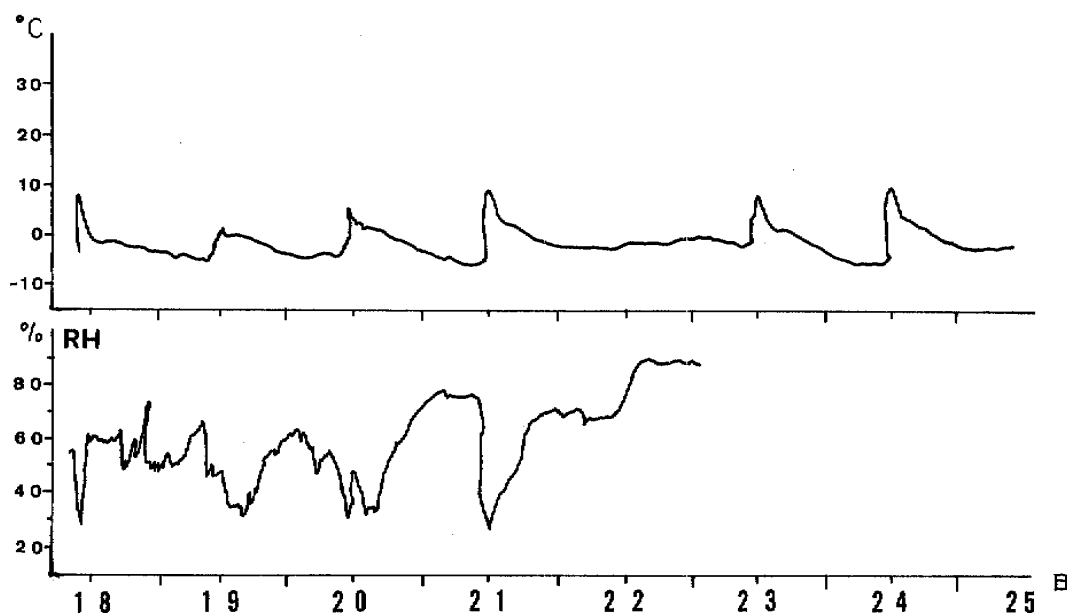


図-112 日光山内と日光（中禅寺湖畔），京都，奈良を比較したクリモグラフ

かけては湿って気温の高いことによる黴や虫害の恐れがあるなど、文化財の保存にとっては難しい環境にある。

この他、特に日光に限った問題ではないが、直射日光が当たることによる急激な温度上昇と湿度の低下が、文化財に乾燥によるひび割れや退色を起こさせる心配がある(図一113)。冬期、日差しが長くなる場合、特に朝夕この現象が起きやすいが、日光のような彩色建造物では、直



図一113 直射日光による温度の上昇と湿度の低下(昭和50年1月18日～25日、東照宮に於ける記録)

表一11 日光山内の温湿度と他との比較

月	気 温				相 対 湿 度			
	山内	日光	京都	奈良	山内	日光	京都	奈良
1	-1.3	-4.6	3.9	3.4	67	68	71	72
2	-0.1	-4.4	4.6	3.9	65	68	70	72
3	2.6	-1.6	7.6	6.7	66	69	66	70
4	8.6	5.2	13.7	13.0	70	74	65	70
5	13.3	10.2	18.4	17.5	73	75	66	72
6	17.3	13.3	22.1	21.3	81	87	72	78
7	19.9	17.8	26.3	25.5	82	89	74	79
8	21.8	18.7	27.5	26.3	83	88	71	77
9	18.8	14.5	23.2	22.2	83	88	73	80
10	13.6	8.4	17.0	15.9	80	83	72	79
11	8.2	3.9	11.4	10.5	75	72	72	78
12	3.6	-1.3	6.4	5.8	70	69	72	74
年平均	10.5	6.7	15.2	14.3	75	78	70	75

注) 山内の値は昭和50年～昭和54年の東照宮・二荒山神社・輪王寺大猷院での観測値の平均値。日光(中禅寺湖畔)と京都・奈良の値は、昭和26年～55年の気象庁観測所での観測値の平均値。

射日光の文化財への影響は大きい。

## 5. ま と め

日光山内の東照宮・二荒山神社・大猷院輪王寺で気温・相対湿度の測定を行い、結果を解析した。気温については、東照宮、二荒山神社、大猷院の順に低くなっているが、相対湿度にはあまり違いがなかった。京都、奈良と比較すると年平均値には差がないが、冬期1月から2月にかけて月平均気温が氷点下に下がり、逆に夏には湿って暑く、温湿度の変化が大きくて文化財には厳しい環境である。特にこの特徴は、輪王寺大猷院で目立っている。

以上の解析結果を総合すれば、日光山内の文化財の保存については、冬期には雨水や地下水の影響を受ける湿った場所での凍結破壊に、夏期には黴や虫害に対して対策を講じる必要があると判断される。

(三浦定俊)

## VII 結 語

東京国立文化財研究所が、勅日光社寺文化財保存会から昭和49年以来12年間にわたって受託した「国宝・重要文化財日光社寺建造物の保存に関する研究」を、ここに一括して報告した。栃木県日光市山内に所在する数多くの文化財には、そのおかれている環境条件から各種の保存科学的問題が存在している。まだ未解決の問題が残されているが、これらはさらに新たな視点から研究が展開されることを切望する次第である。

おわりに、本研究を遂行するにあたり、勅日光社寺文化財保存会ご当局の文化財保存科学への深いご理解と岡部信夫氏、吉原昭夫氏ら職員諸氏から多大のご協力を頂いたことに哀心から御礼申し上げます。



## Studies on the Conservation of Shinto and Buddhist Buildings in Nikko Designated as National Treasure and Important Cultural Property

Hideo ARAI, Toshiko KENJO, Toshikatsu NAKASATO, Sadatoshi MIURA,  
Hachiro MORI, Yoshimichi EMOTO and Nobuo ITO

Tōshōgū shrine, Futa-arasan shrine and Rin-nōji temple were constructed at Nikko, Tochigi prefecture in 1615-1654. In the precincts of these two shrines and one temple there are one hundred and ten buildings designated as National Treasure and Important Cultural Property of Japan. Since the area has moderate temperature and high humidity in summer and low temperature with heavy snow in winter, various forms of deterioration have been found in those buildings from old. Therefore, these buildings have been reconstructed and/or repainted whenever necessary.

This is a report on the studies of conservation of these buildings entrusted by the office of Restoration of Cultural Properties in Nikko from 1974 to 1986. Following subjects are discussed in this report : lacquering techniques of the Niten-mon gate, Daiyū-in ; researches on the chemical cause of and countermeasures for the blackening phenomenon on a lacquered building ; microbiological research on the blackening phenomenon of a lacquered building ; comparative experiments on some anti-weathering films of lacquer ; researches on irregular discoloration found in *tōyu-saishiki* on the fence of Tōshōgū shrine ; researches on preventive methods for fungal growth on paintings of buildings ; investigation of biodeterioration in 16 buildings ; and 5-year survey of the climate around the buildings.

(1) Lacquering techniques and the present condition of the Niten-mon gate, Daiyū-in belonging to Rin-nōji temple were investigated. The gate was constructed as a gate Shōgun Iyemitsu's mausoleum in 1654. After repeated recoating with lacquer, *tame-nuri* was applied in 1922. Recently color of the lacquered surface changed from brown to black. The author thinks that the causes lie in lacquering technique and lacquer material. (T. Nakasato)

(2) Blackening phenomenon at the lacquered Niten-mon gate in Daiyū-in of Rin-nōji temple in Nikko was studied. The phenomenon was confirmed by scanning electron microscopic examination and infra-red spectroscopy. The gate is made of zelkova which contains various water soluble substances (abbreviated as wss below) in high concentration. The wss in zelkova is characterized in that they turn black when exposed to sun light.

It is considered that when raw lacquer, containing much water, was applied to the gate for grounding prior to lacquering the gate, it dissolved the wss in zelkova, then the wss moved with the water in the raw lacquer to the surface and remained there after the water had evaporated. Later, the gate was repeatedly exposed to sun light for a long time till now. It should be understood, therefore, that the wss might have gradually darkened to

become black. (T. Kenjo)

(3) Yellowish water soluble substances (abbreviated as wss below) were collected from the blackened surface of a lacquered wooden building, the Niten-mon gate of Daiyū-in. When the wss was observed under a microscope, growing mycelia and conidia of fungi could be found in the samples (Fig. 55). Main fungus in the wss was identified as *Cladosporium* spp. It is possible to propose a reasonable explanation for the blackening phenomenon of the lacquered building from the finding, because it is a well-known fact that airborne *Cladosporium* spp. are the main cause of black spots on wetted wall paintings and others. (H. Arai)

(4) Effect of resistance against deterioration of blackish lacquer film by the use of some carbon-blacks was experimented. In general, it is said that black *urushi* turn to brown *urushi* after exposure to open air for several years. Traditionally, *urushi* mixed with carbon-black are as preventive method. The authors examined weather proofing of *urushi* by mixing *urushi* with several types of carbon-black and found that ivory-black and *shō-en* (pine smoke) to be effective. (T. Nakasato)

(5) *Urushi* is very weak against ultra-violet rays. *Urushi* to which urethane was added and *urushi* chemically reacted with urethane were tested for their weathering proofing effect. It was found that they are twice as strong as regular *urushi*, but that their colors change from black to brown. (T. Nakasato)

(6) *Tōyu* paintings on *sukibei* walls (walls having patterned holes) were found to be dis-or de-colored partially and irregularly on their surfaces. In order to find out the cause, several light monitoring strips were hung at various spots on the walls and used to check the extent to which each spot was exposed to sun light. Samples of several pigments which were unstable to light were also hung at those spots to be compared in their de-or dis-coloration.

The results obtained show that some discoloration occurred due to moisture which evaporated from the earth and that the irregular interstices formed by many trees surrounding the walls allowed the walls to be lit partially and irregularly, thereby causing partial and irregular dis-or de-coloration of the paintings on the walls. (T. Kenjo)

(7) Preventive methods for fungal growth on decorative paintings of buildings were researched. As a treatment method for painted surfaces, spraying 0.05ml/cm<sup>2</sup> of 5.0% thymol ethanol solution or 50-100ml/m<sup>2</sup> of 0.5% thiabendazol (TBZ) ethanol solution were effective for control of fungal growth. On the other hand, as a treatment method by antifungal glue, it was discovered that dissolving TBZ and Amical 48 in glue was useful for control of fungal growth. However it is necessary to carry out middle scale and practical experiments on the use of antifungal glue. (H. Arai)

(8) The authors investigated in September, 1975 biodeterioration found in 16 wooden

buildings. As typical insect damage, deterioration caused by death watch beetles, Anobiidae, was found widely in these buildings. Lacquered buildings were also attacked by wood rotting fungi, like *Coriolus hirsutus* and *Serpula lacrymans*. Softening deterioration of wood, so called "Fuke", could be found in the wooden parts under floors. Main fungi growing on paintings of building belonged to Fungi Imperfecti, especially deterioration caused by *Cladosporium* spp. were found remarkably on these painted buildings and some lacquered buildings. (H.Mori and H. Arai)

(9) Temperature and humidity were measured in the Nikko shrines-temple area from 1975 to 1980 for the conservation of painted wooden buildings. Thermo-hygrographs were placed at Tōshōgū shrine, Futa-arasan shrine and Daiyū-in (Rin-nōji temple) for the measurement. The annual mean temperature and humidity were 10.5°C and 75%RH respectively. The mean temperature at Daiyū-in was about one degree lower than at others, because Daiyū-in is located at a higher place than two shrines in the shrines-temple area. A conclusion was drawn from the result that care should be taken for conservation to avoid biological damage in summer and a freezing damage in winter. (S. Miura)